

Realistische Dekarbonisierungsoptionen für den Güterverkehr

**Vortrag von Prof. Dr. Gernot Liedtke
im Rahmen des Seminars des Fachgebiets
Verkehrssystemplanung und Verkehrstelematik
Institut für Land- und Seeverkehr
Technische Universität Berlin
03.06.2020**

basierend auf dem Vortrag „Verkehrswende und alternative Antriebe im [Güter]Verkehr“
Seminar zur Energiepolitik der Hanns-Seidel-Stiftung
01. Februar 2020, Bildungszentrum Kloster Banz

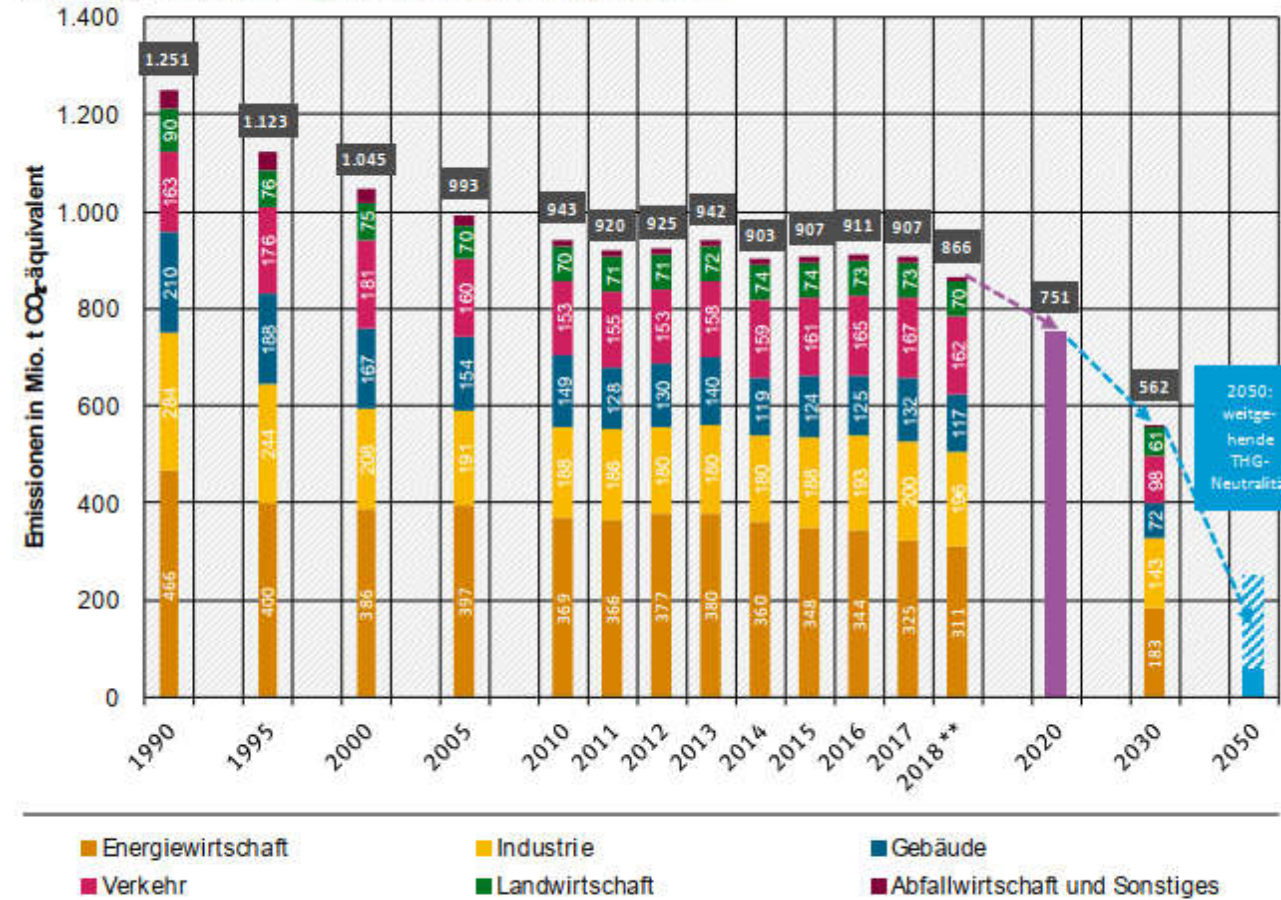
Überblick

- **Motivation, aktueller Diskurs**
- Grundlagen: Struktur und Entwicklungen im Güterverkehr
- Frage 1: Ist ein Effizienzsprung auf der Straße überhaupt möglich?
- Frage 2: Was kann die Schiene leisten?
- Frage 3: Was geht auf der letzten Meile?
- Frage 4: Welche CO₂-armen Antriebsoptionen sind möglich? Wer bekommt welchen Kraftstoff und was bedeutet das für den Stromsektor?

Bedeutung des Verkehrs für den Klimaschutz

Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland

in der Abgrenzung der Sektoren des Klimaschutzplans 2050*



Anteile an den CO₂-Emissionen

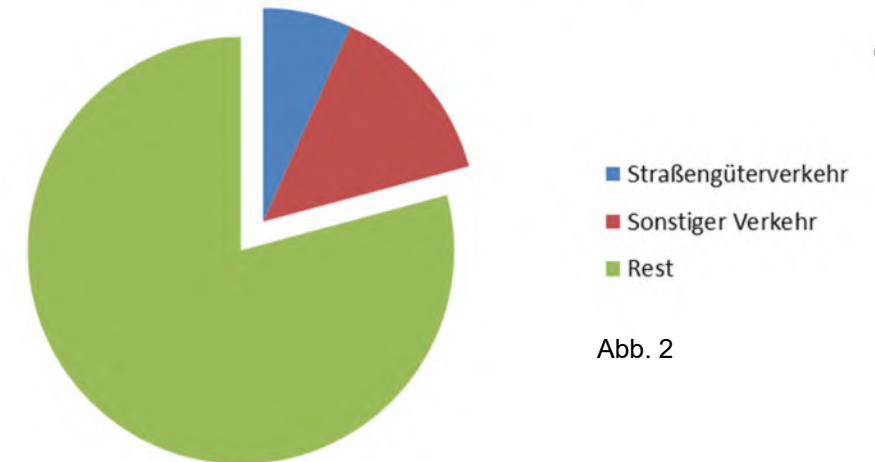


Abb. 2

* Die Aufteilung der Emissionen weicht von der UN-Berichterstattung ab, die Gesamtemissionen sind identisch

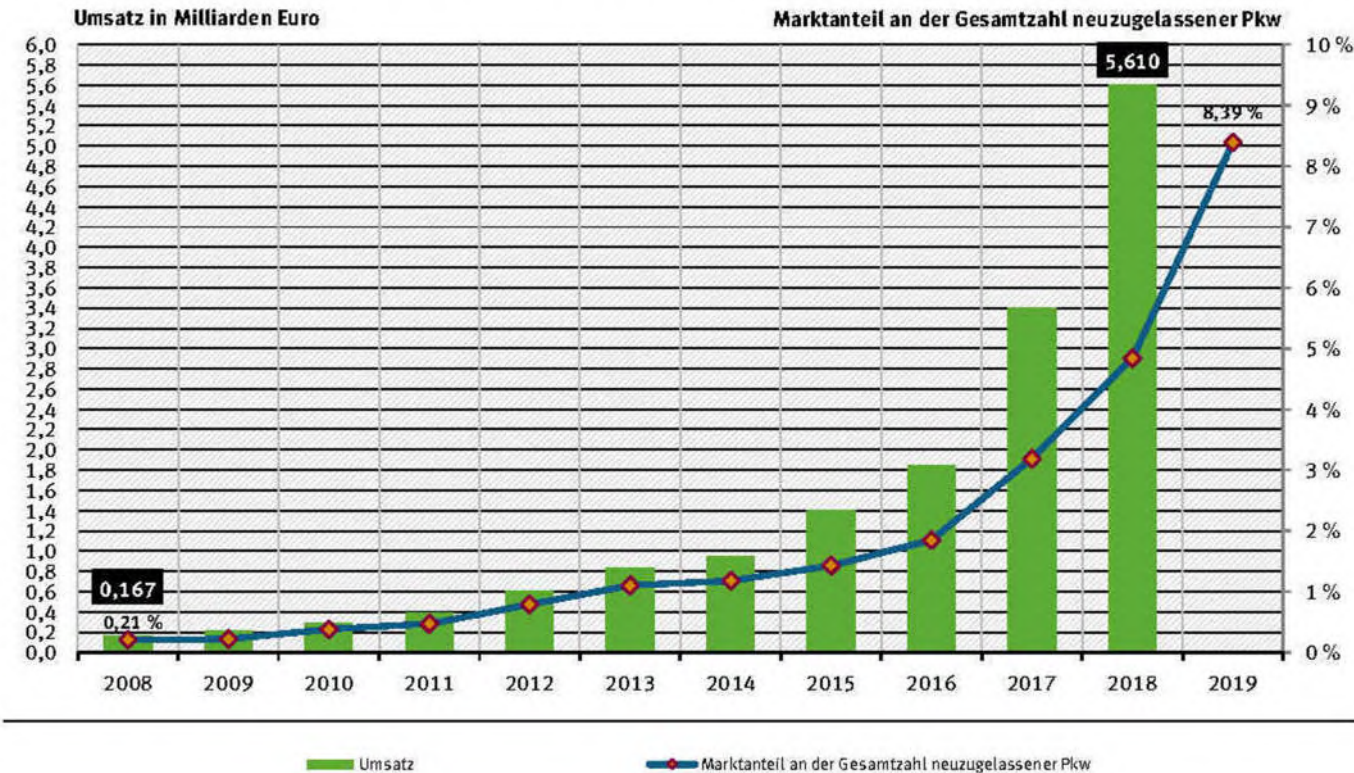
** Schätzung

Quelle: Umweltbundesamt 04.04.2019

Abb. 1

Diskurs: Dekarbonisierung des Personenverkehrs

Umsatz und Marktanteil von Elektro- und Hybridfahrzeugen



* Die Marktanteile: Anzahl verkaufte Elektro- und Hybridfahrzeuge gemessen an allen neu zugelassenen Pkws. Durchschnittspreis für PkW mit Hybridantrieb für 2013, 2014 und 2016 geschätzt unter Annahme eines leichten

Quelle Kraftfahrt Bundesamt (KfzA) 2012-2019; Daten Neuzulassungen, Flensburg; Verkaufszahlen und Preise Elektro- und Hybridfahrzeuge: diverse Quellen

- Produktexplosion von Batterie- und Hybridfahrzeugen auf den Pkw-Märkten
- CO₂ Flottengrenzwerte wirksam in Kraft
- Förderprämien für E-Fahrzeuge von 6000 EUR
- Haltbarkeit Batterien inzwischen akzeptabel
- Reichweitenangst zunehmend unbegründet
- Synthetische Kraftstoffe als Nischenthema
- Neue Mobilität: Sharing, Pooling, Mikromobilität
- Investitionen Bahn/ÖPNV
- Tempolimit von 130 km/h wird irgendwann kommen

Aktueller Diskurs im Güterverkehr im Zusammenhang mit Klimaschutz

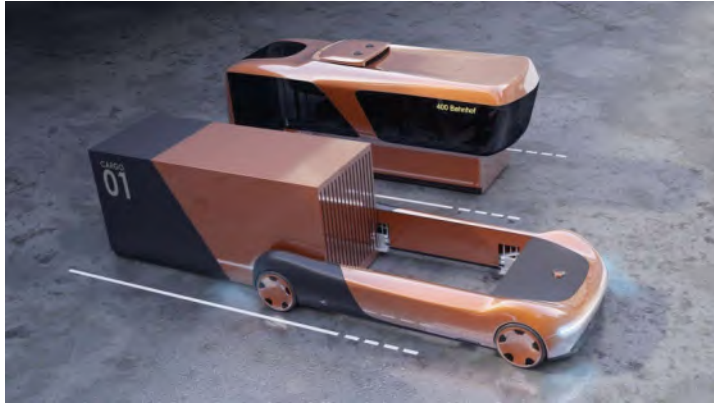


Abb. 4

Neue Fahrzeugkonzepte



Abb. 5

Wasserstoff



Abb. 6

Batterie



Abb. 7

Verkehrsverlagerung

Weitere Diskurse um den Güterverkehr



Abb. 8

Flächenbedarfe
und -konflikte



Abb. 9

Abbiegeunfälle



Abb. 10

Auffahrunfälle,
insbesondere
auf Autobahnen



Abb. 11

Demografie und
Gesundheit der Fahrer

Sozio-ökonomische Drücke auf Akteure im Güterverkehr

⇒ Drücke auf die Logistikbranche

- Arbeitsbedingungen
- Arbeitskräfte
- Sicherheit
- Umwelt
- Machtstrukturen in Märkten
- Kosten der letzten Meile
- Zuverlässigkeit

⇒ Drücke auf die Lkw-Hersteller

- Kartelle sind „aufgeflogen“
- Neue Wettbewerber gehen an den Start
- Unsicherheit über Dekarbonisierungsstrategie: Technologien, fiskalische Behandlung der Energieträger

⇒ Drücke auf Verlader

- CO₂ Bilanzierung

Diese Drücke werden für Veränderungen sorgen

Überblick

- Motivation, aktueller Diskurs
- **Grundlagen: Struktur und Entwicklungen im Güterverkehr**
- Frage 1: Ist ein Effizienzsprung auf der Straße überhaupt möglich?
- Frage 2: Was kann die Schiene leisten?
- Frage 3: Was geht auf der letzten Meile?
- Frage 4: Welche CO₂-armen Antriebsoptionen sind möglich? Wer bekommt welchen Kraftstoff und was bedeutet das für den Stromsektor?

Teilgebiete des Güterverkehrs

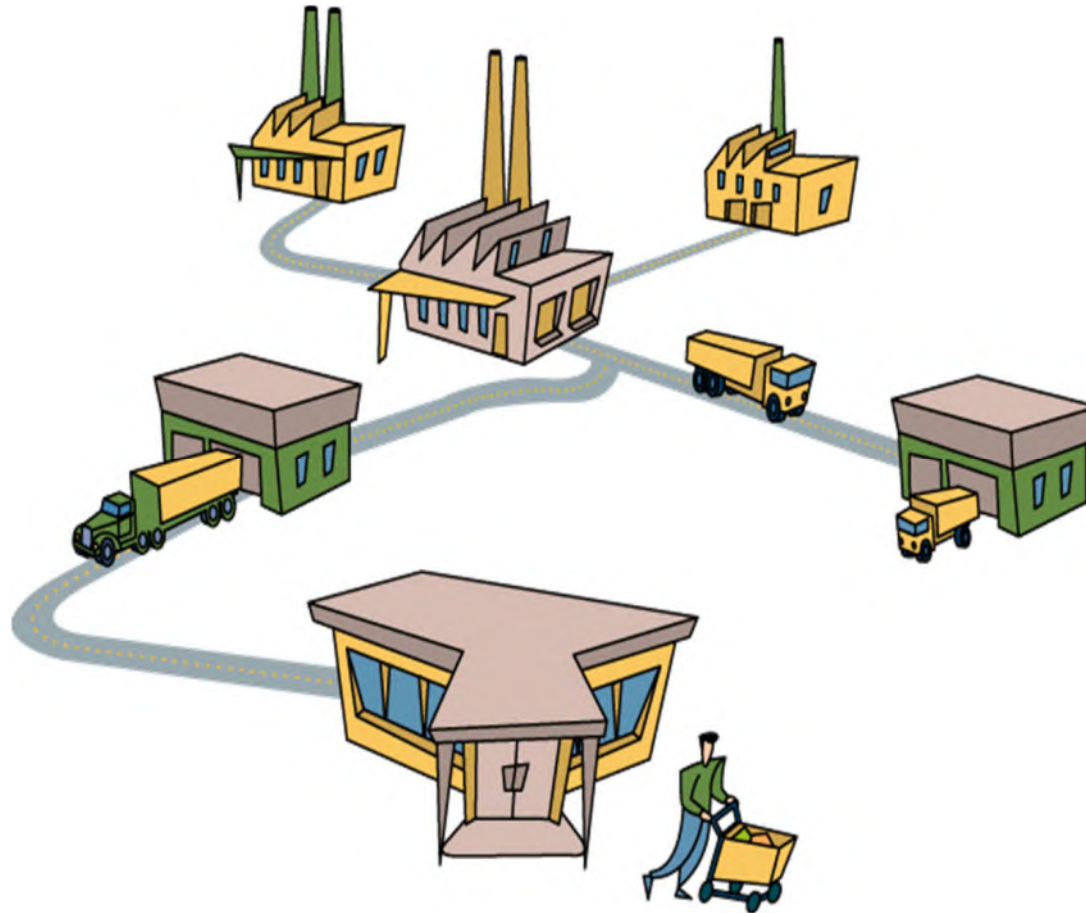


Abb. 12

Teilgebiete des Güterverkehrs: Segmente des Straßengüterverkehrs

Anteile der einzelnen Teilmärkte des deutschen Straßengüterverkehrs nach der Beförderungsstrecke in %

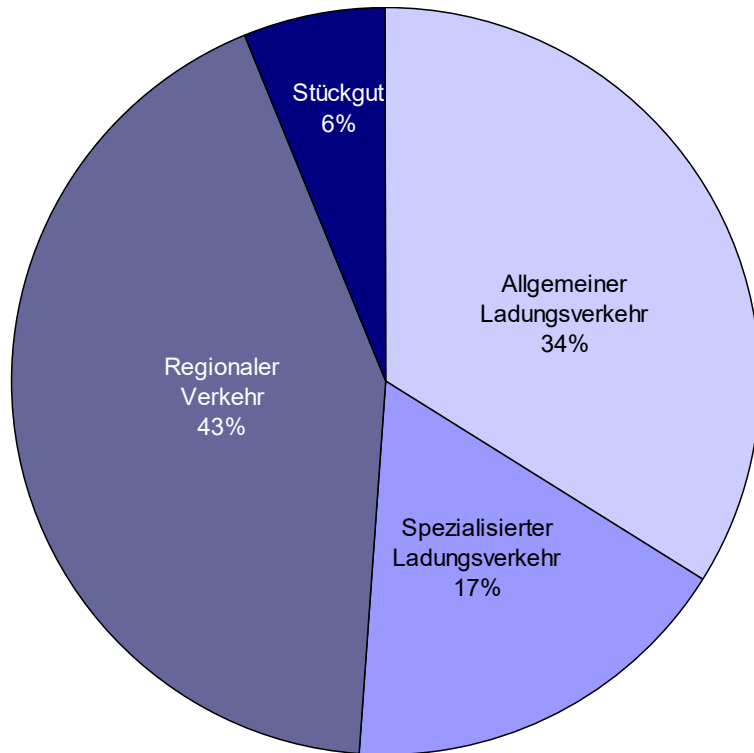


Abb. 13

- hinzu kommt internationaler Verkehr...
- und Verkehr mit Fahrzeugen < 3,5 t Gesamtgewicht

CO₂-Emissionen des Straßengüterverkehrs

CO₂-Emissionen durch Lkw

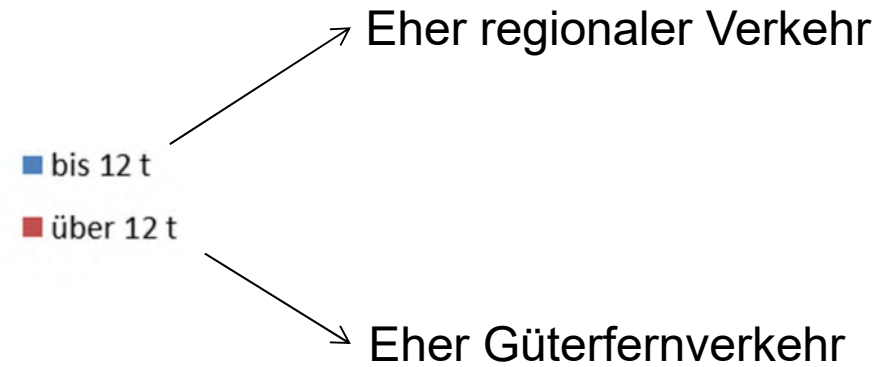
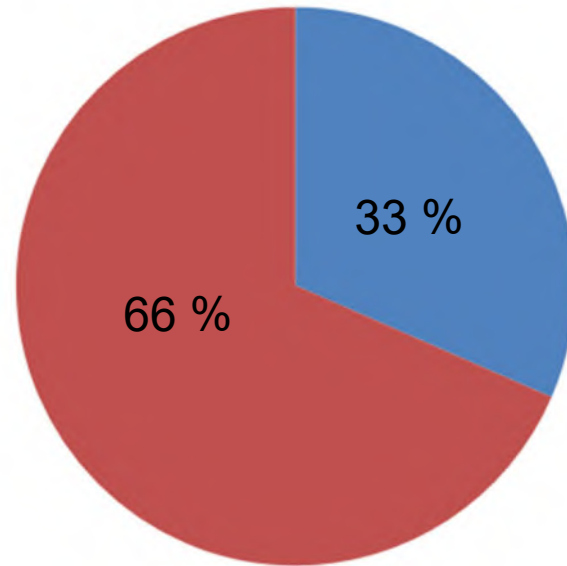


Abb. 14

Entwicklung des Güterverkehrs (>3,5 t zGG)

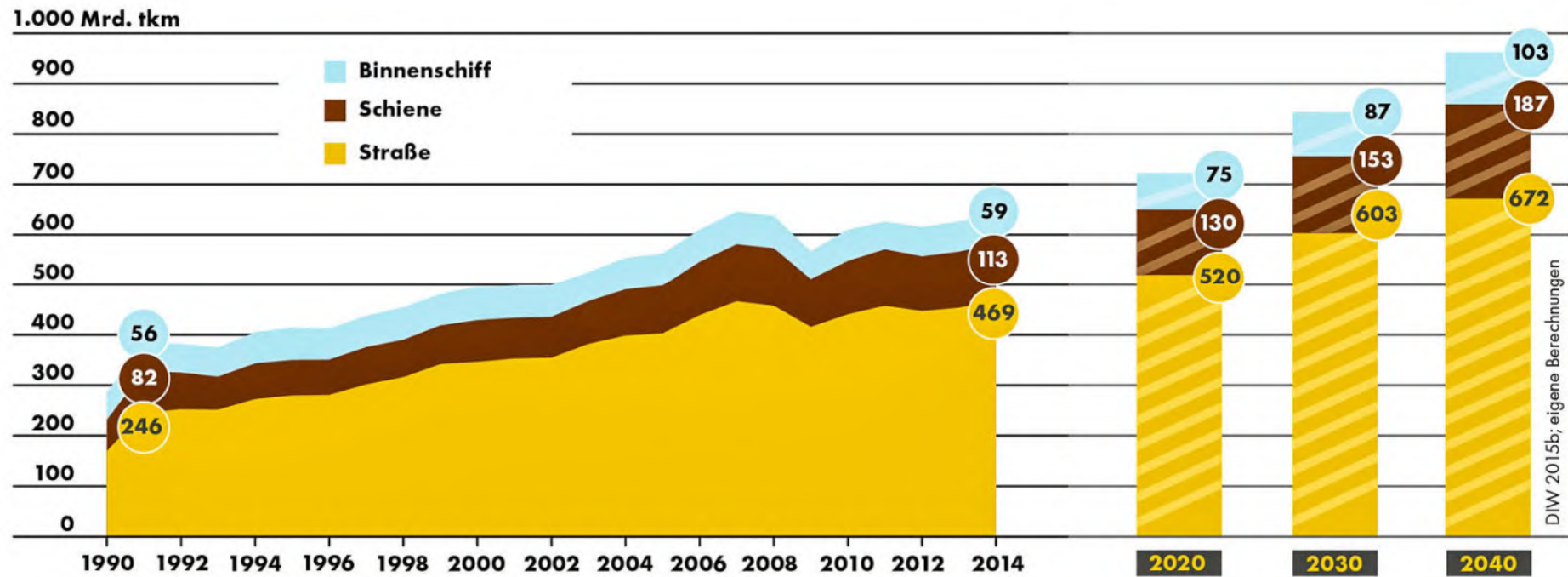


Abb. 15

Der „kleine“ Lieferverkehr (<3,5 t zGG)

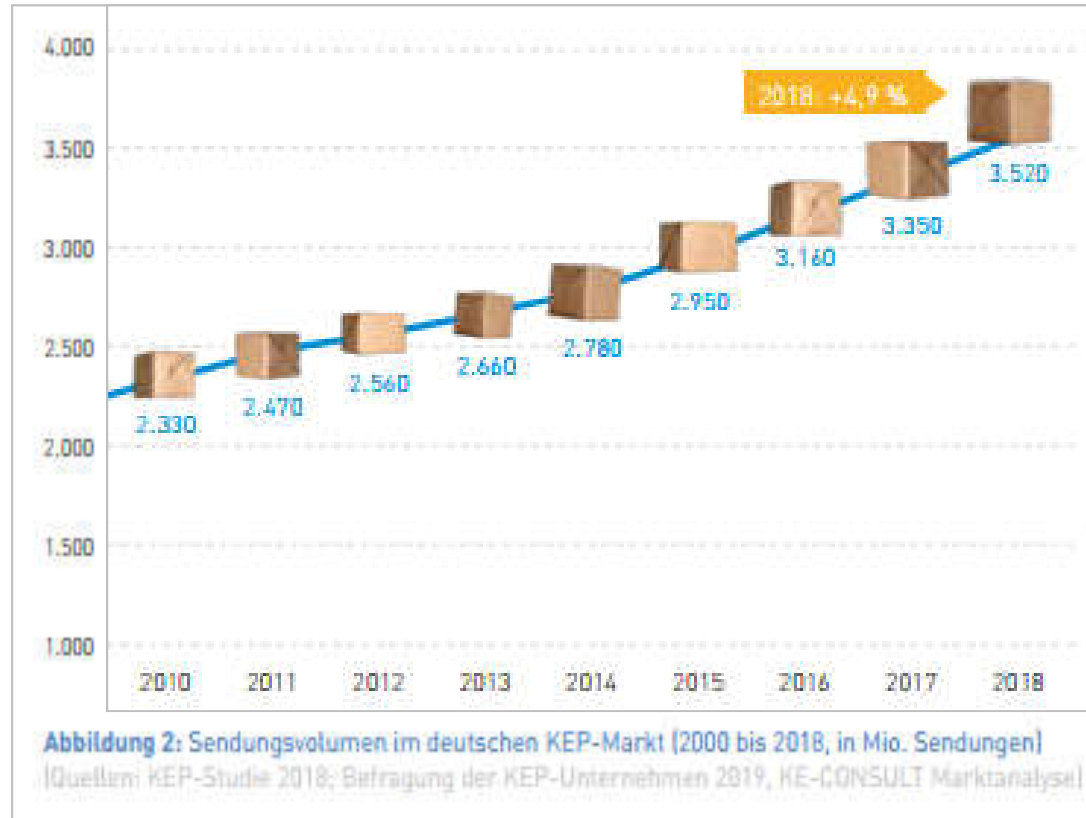


Abb. 16

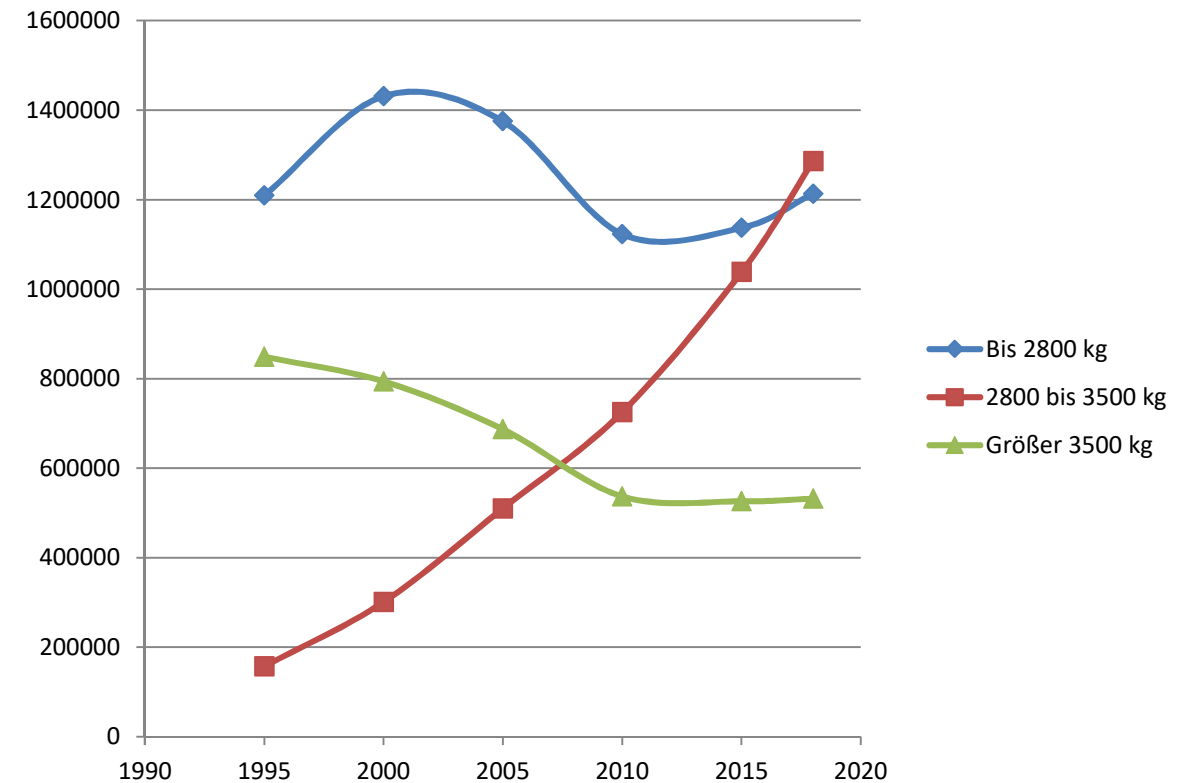


Abb. 17

Zugelassene Nutzfahrzeuge in Deutschland nach zGG

Zu beachten: jährliche Fahrleistung eines Fahrzeugs:
ca. 20.000 km für Lkw < 7,5 t zGG
ca. 100.000 km für Sattelzugmaschinen!

Zwischenfazit – Struktur

- Auf den ersten Blick ist der Straßengüterverkehr heterogen (Fahrtlängen, Güter, Nutzlast, Aufbauten)
- Grob kann man ihn in 2 Klassen einteilen:
 - Güterfernverkehr mit 40-Tonnern, i. d. R. Sattelzüge
 - Regionaler Güterverkehr mit Lkw mit 2,8-18 t zGG
- In beiden Bereichen gibt es Standard-Lkw und diverse Sonderfahrzeuge
- Der Güterfernverkehr hat Tagesfahrleistungen von ca. 500 km
- Der regionale Verkehr hat tägliche Tourlängen von 50-150 km
- Es gibt ein moderates Wachstum des Straßengüterfernverkehrs (ca. 1,8% p.a.)
- Forciertes Wachstum des regionalen Güterverkehrs mit leichten Nutzfahrzeugen

**Für Güterfernverkehr und regionalen Güterverkehr sind
Verschiedene Dekarbonisierungsoptionen denkbar**

Überblick

- Zusammenfassung
- Grundlagen: Struktur und Entwicklungen im Güterverkehr
- **Frage 1: Ist ein Effizienzsprung auf der Straße überhaupt möglich?**
- Frage 2: Was kann die Schiene leisten?
- Frage 3: Was geht auf der letzten Meile?
- Frage 4: Welche CO₂-armen Antriebsoptionen sind möglich? Wer bekommt welchen Kraftstoff und was bedeutet das für den Stromsektor?

Entwicklung der Leerfahrten

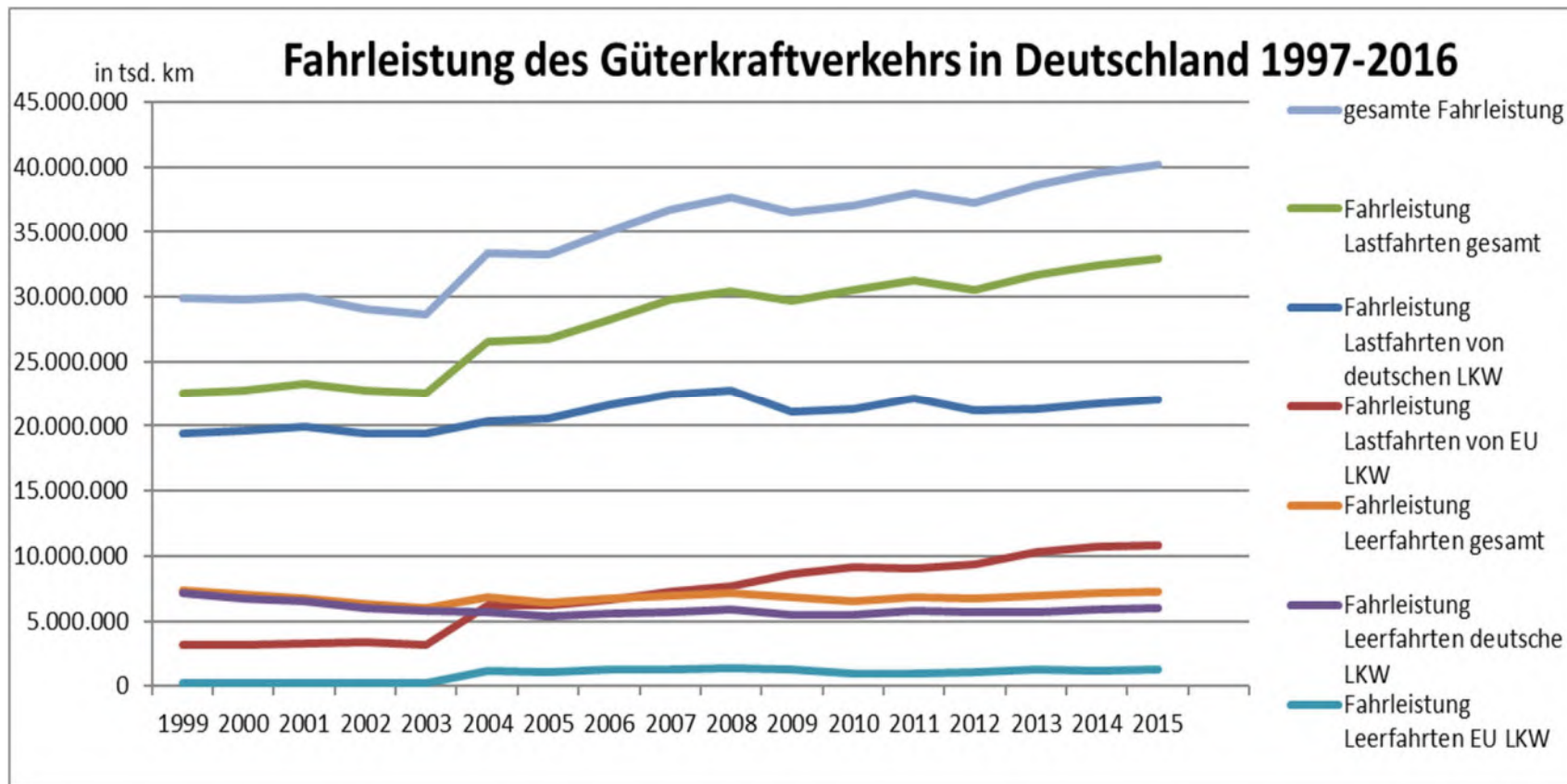


Abb. 18

Die Fahrleistung der Leerfahrten ist zwischen den Jahren 2000 und 2010 gefallen, bleibt aber jetzt konstant.

**Bündelungspotenziale bereits größtenteils gehoben;
es wird schwieriger, mehr zu realisieren**

Technische Verbesserungspotenziale für Lkw

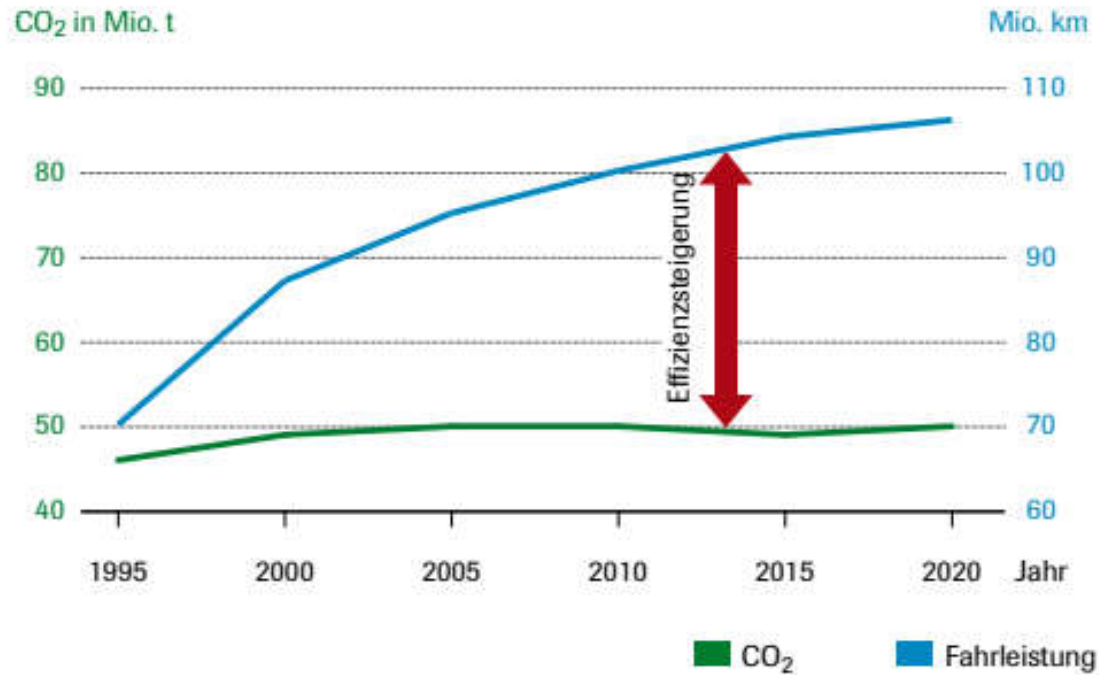
	städtisch	überregional
Motor und Getriebe Wärmerekupperation Elektrifizierung von Hilfsaggregaten	bis 13%	bis 14%
Hybridantrieb	bis 20%	bis 3%
Verbesserung Fahrtwiderstand Aerodynamik Leichtbau Reifen + Reifendruck	bis 14%	bis 17%

Abb. 19

Bei heutigen Lkw-Konzepten sind Energie-Effizienzsteigerungen von bis zu 34% möglich

Entwicklung und CO2 Emissionen bei Lkw

Effizienzsteigerung im Nutzfahrzeugbereich



Quelle: TREMOD
Abb. 20

Unter heutigen Rahmenbedingungen werden die technischen Effizienzsteigerungspotenziale nicht erschlossen; es gibt stattdessen Sättigungstendenzen

Energetische Optimierung durch Lang-Lkw

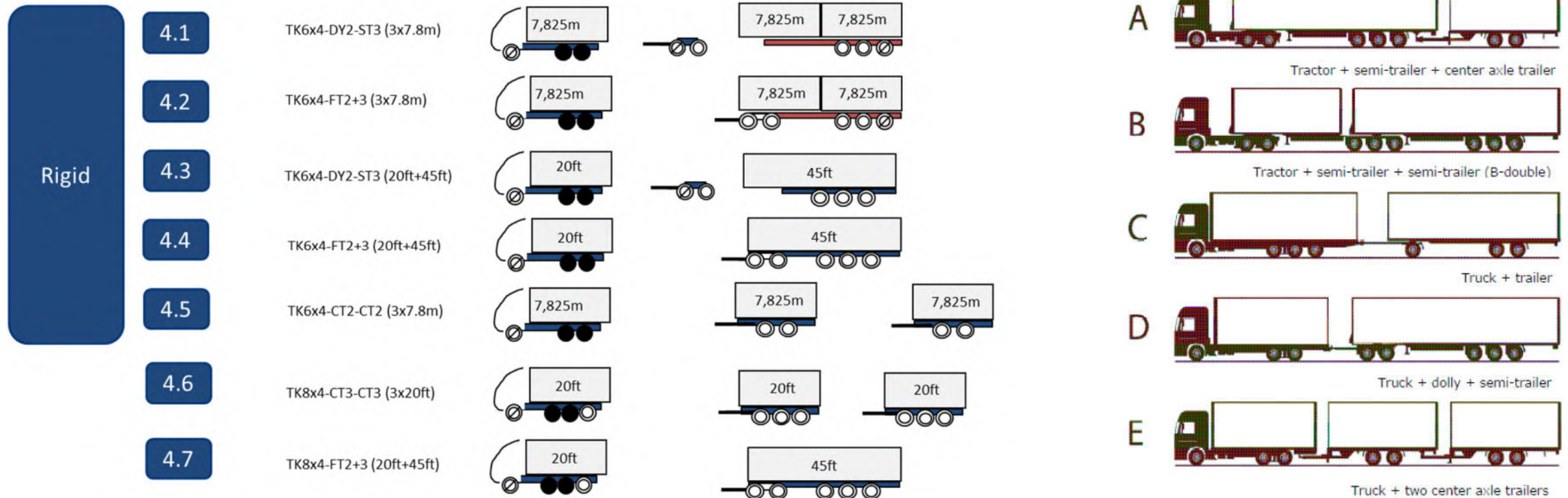


Abb. 21

Lang-Lkw können spezifische CO₂-Emissionen um ca. 20-30 % [pro tkm] senken

Lang-Lkw lassen auch die Transporttarife um ca. 30% sinken.
Also ist eine gewisse Verlagerung von der Schiene zur Straße zu erwarten

Revolutionäre Aerodynamik



Abb. 22



Abb. 23

**Allein durch konsequente aerodynamische Optimierung
sind 20-30% CO₂-Einsparungen möglich**

Platooning

Diese Technik steckt hinter Platooning

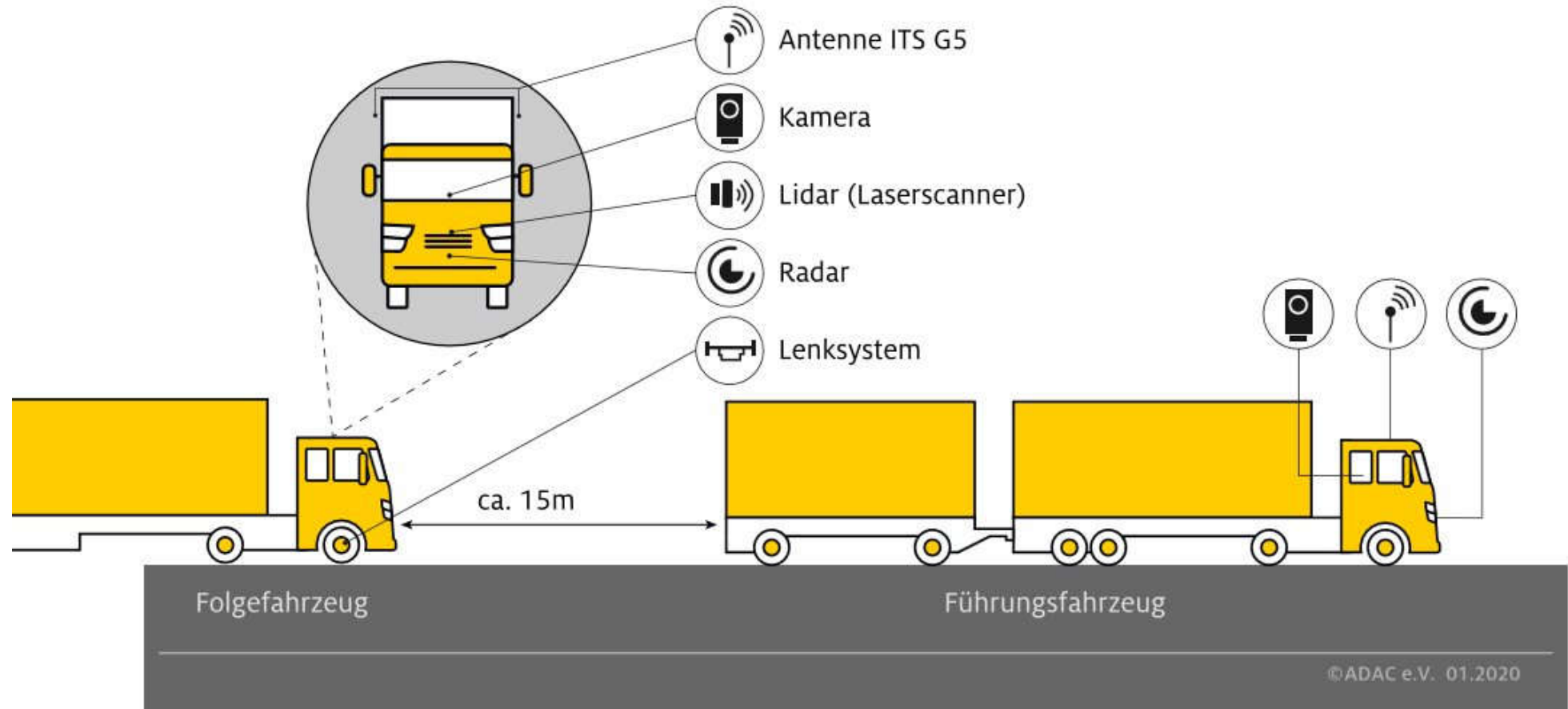


Abb. 24

⇒ 8% CO₂-Einsparungen möglich ⇒ Schritt in Richtung autonomes Fahren

Überblick

- Zusammenfassung
- Grundlagen: Struktur und Entwicklungen im Güterverkehr
- Frage 1: Ist ein Effizienzsprung auf der Straße überhaupt möglich?
- **Frage 2: Was kann die Schiene leisten?**
- Frage 3: Was geht auf der letzten Meile?
- Frage 4: Welche CO₂-armen Antriebsoptionen sind möglich? Wer bekommt welchen Kraftstoff und was bedeutet das für den Stromsektor?

Zentrale Motivation Schiene – Endenergie-Effizienz

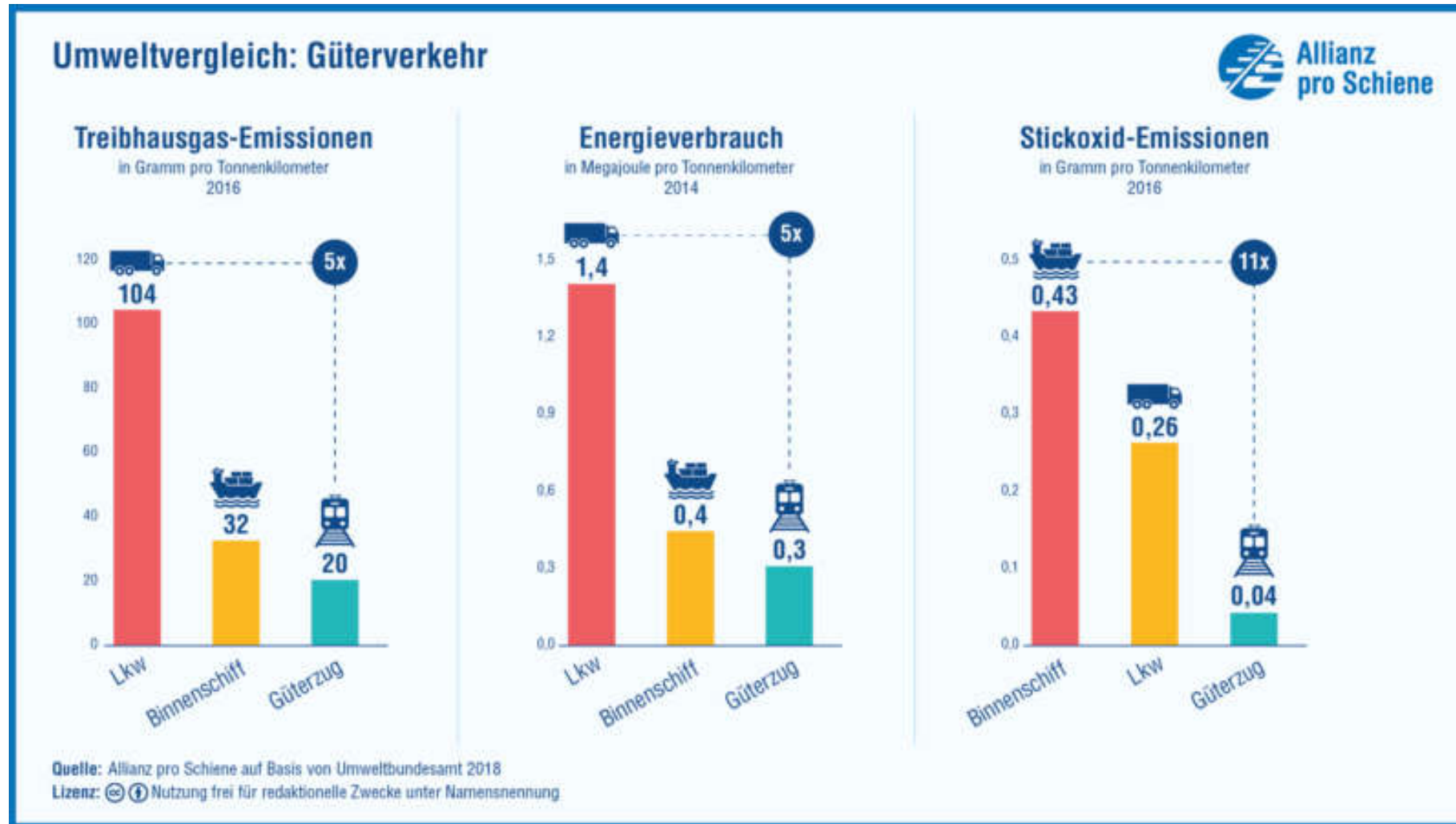


Abb. 25

Modellgestützte Analyse von Verlagerungspotenzialen

Entwicklung von Szenarien

Szenario Infrastruktur

- Staat: baut Infrastruktur über BVWP hinaus aus
- Private: wirtschaftliche Maßnahmen umsetzen

Szenario Technologieupgrade

- Staat fördert Technologieinvestitionen
- Private setzen betriebliche und technische Maßnahmen um

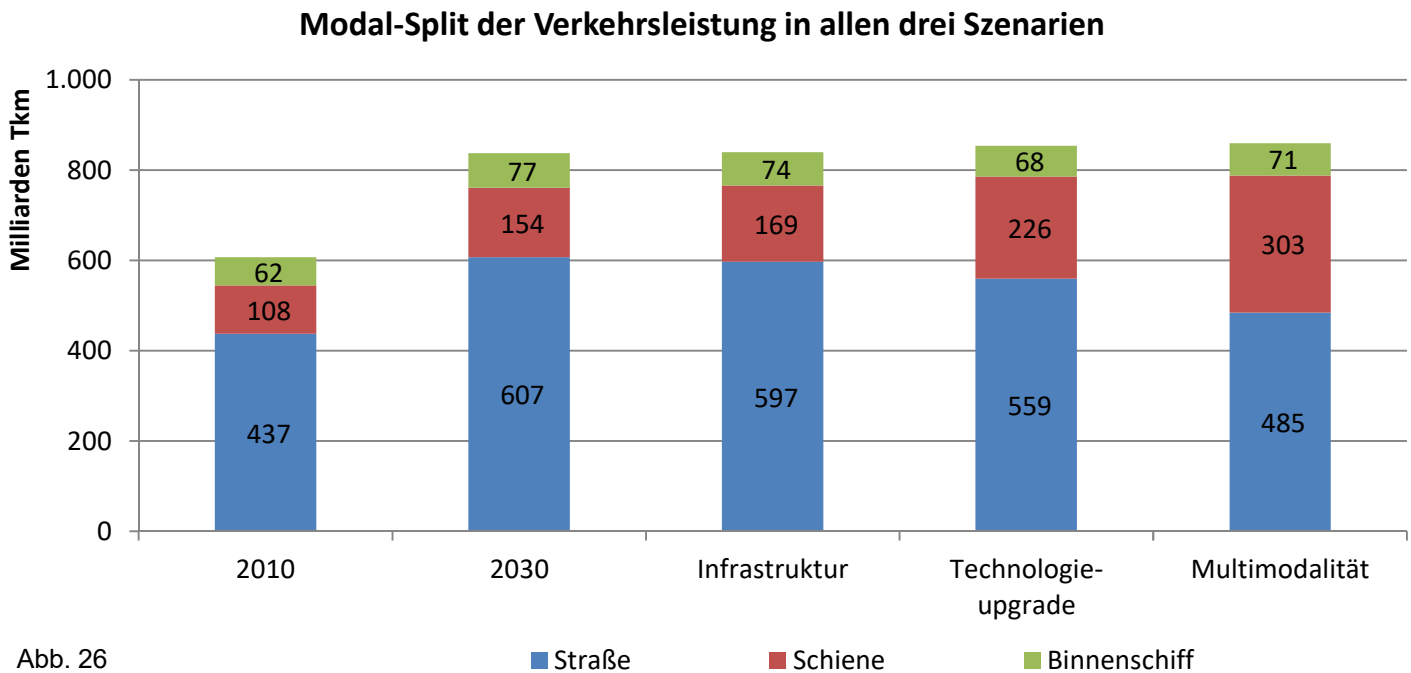
Szenario Multimodalität

- 50 % des Verkehrs über 300 km auf Schiene und Wasserstraße (Weißbuch Verkehr 2011)
- Massenleistungsfähige Umschlagsanlagen für Komplett- und Teilladungen
- Ziel: Automatisierter und Digitalisierter SGV

Modellgestützte Analyse von Verlagerungspotenzialen

Zentrale Ergebnisse

- Infrastrukturausbau und Technologieupgrade haben geringen Effekt auf Modal-Split, Endenergieverbrauch und CO₂-Emissionen
- Deutliche Reduzierung im Endenergieverbrauch und CO₂-Emissionen durch multimodalen Schienengüterverkehr



Vergleich Endenergieverbrauch	Basis 2010	Referenz 2030
Infrastruktur	+ 4%	- 2%
Technologieupgrade	- 1%	- 7%
Multimodalität	- 12%	- 17%

Vergleich CO ₂ -Emissionen	Basis 2010	Referenz 2030
Infrastruktur	- 1%	- 2%
Technologieupgrade	- 6%	- 8%
Multimodalität	- 16%	- 18%

Modellgestützte Analyse von Verlagerungspotenzialen

Vermeidungskosten

- Abschätzung der Kosten für die einzelnen Maßnahmenpakete und Szenarien
- Gegenüberstellung der Einsparungen an CO₂-Emissionen gegenüber Referenzszenario 2030

	Szenario „Forcierte Infrastruktur“	Szenario „Technologieupgrade“	Szenario „Vom KV zur Multimodalität“
Einmalige Gesamtkosten für den Bund [Mio. €]	1.000	1.232	5.532
Einsparungen an CO ₂ -Emissionen ggü. Referenzszenario 2030 [Mio. t]	1,1	3,7	8,6
Gesamtkosten pro jährlich eingesparter Tonne CO ₂ [€ ₂₀₁₀ / t / a]	909	333	643

Abb. 27

Und die Zukunft?



Abb. 28

Und die Zukunft?

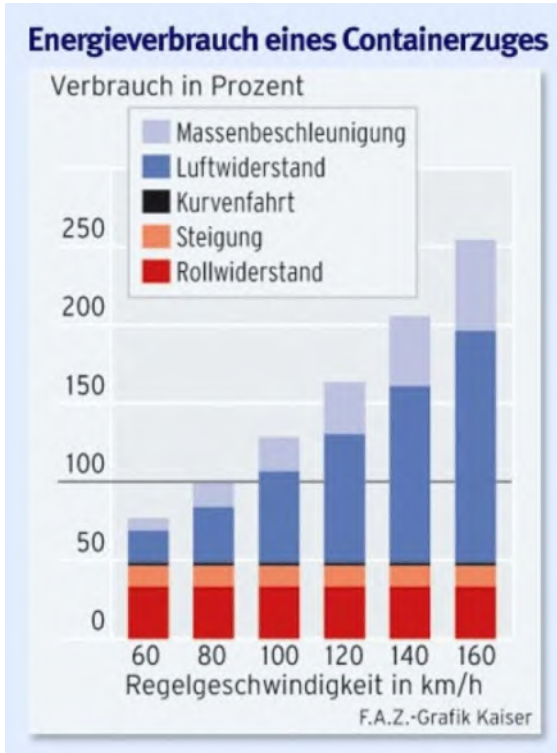


Abb. 29



Abb. 30

Höhere Geschwindigkeiten ermöglichen die Nutzung von Schnellfahrstrecken

Elemente eines zukunftsfähigen Güterverkehrs auf der Schiene:

- kostengünstig → robust → Mitschwimmen im schnellen Personenverkehr
- Parallelentladung → Schnittstellen zur Logistik → letzte Meile

Realität heute



Abb. 31

Förderung des Kombinierten Verkehrs

Was wird gefördert?

- Neu- und Ausbau von KV-Umschlaganlagen (Straße/Schiene, Schiene/Schiene, Wasser/Straße, Wasser/Wasser, Trimodal)
- Technikoffen

Wie wird gefördert?

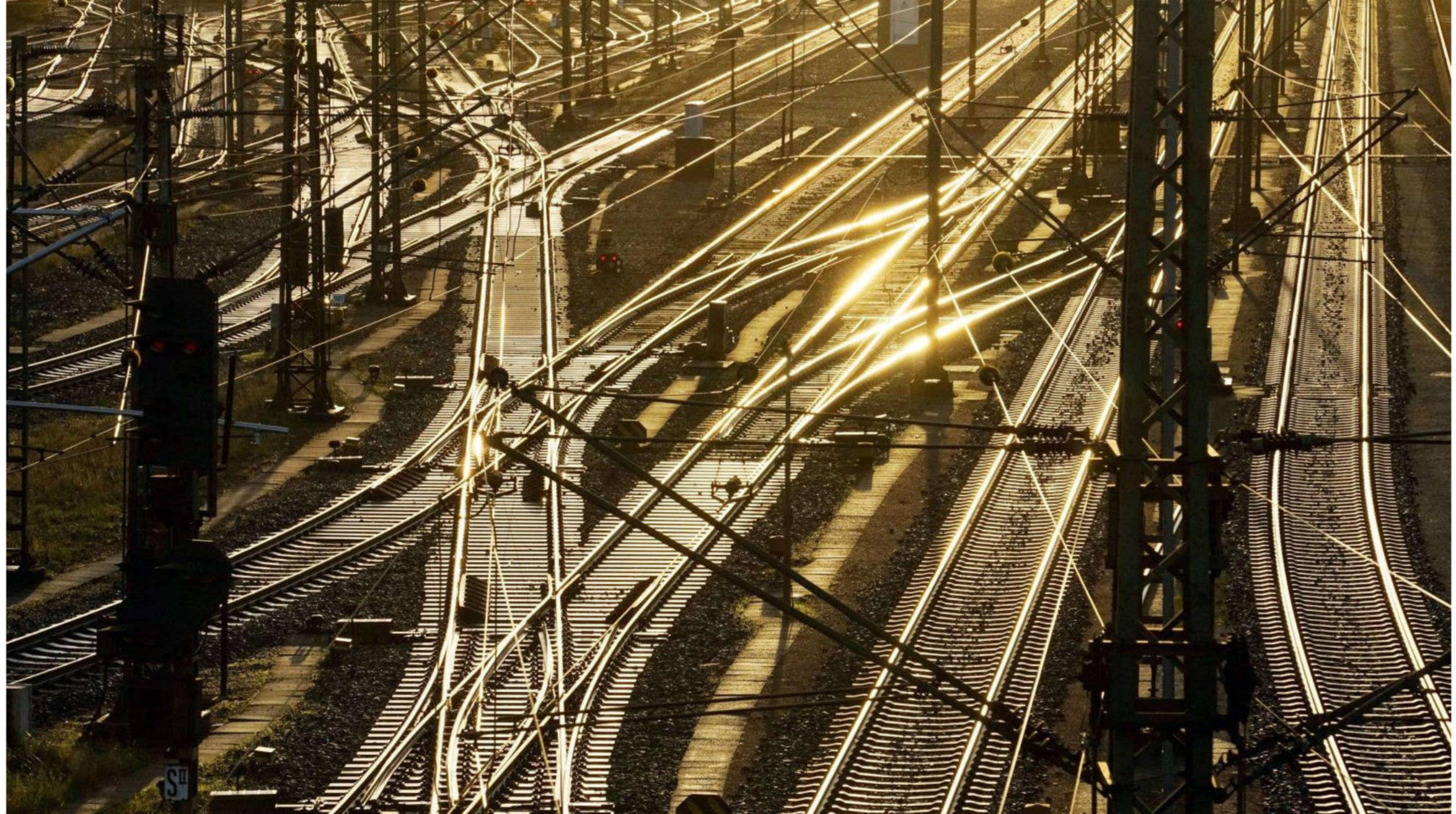
- Bis zu 80% der Investitionsausgaben (inkl. 10% Planungskostenpauschale)
- Bis zu 33€ pro Ladeeinheit

Förderung des Kombinierten Verkehrs

Unter welchen Voraussetzungen wird gefördert?

- Diskriminierungsfreier Zugang
 - Sonst nicht wirtschaftlich betreibbar
 - Keine intramodale Wettbewerbsverzerrung bei Förderung
- Betriebsbereitschaft für 10 Jahre (Förderung bis zu 50%) bzw. 20 Jahre
- Volkswirtschaftlicher Nutzen: Vierfaches der Fördersumme
- Bei über 50% Förderung muss der Betrieb ausgeschrieben werden

Die umfangreichen Auflagen bei der Förderung können Investitionen hemmen



Streckenauslastungen des Referenzszenarios

- Abbildung des Referenzszenarios im eigenen Modell ohne Verlagerungspotenziale

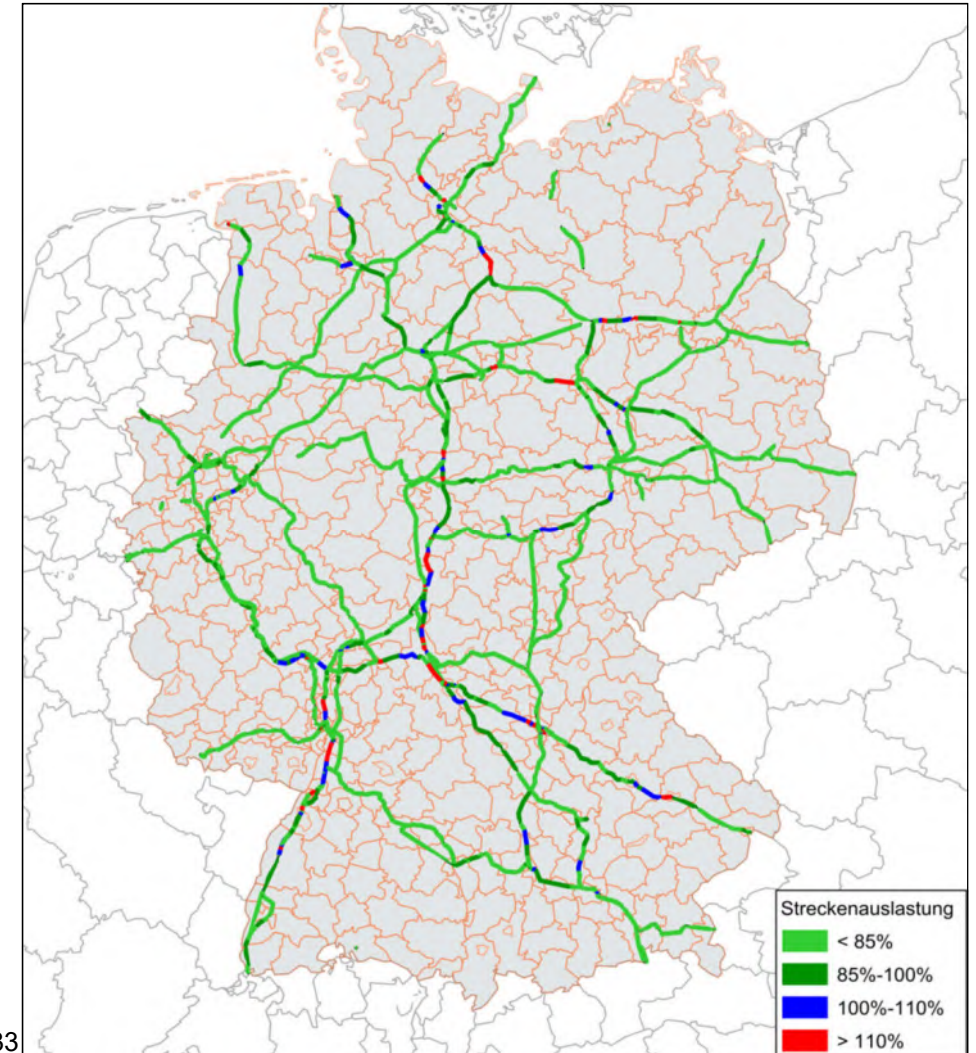


Abb. 33

Streckenauslastungen unter Beachtung der verlagerten Güterverkehrsnachfrage im Ausgangszustand

- Verdopplung des Schienengüterverkehrs
- Annahmen:
 - ETCS
 - Zuverlässige Infrastruktur für 740m-Züge
 - Ausgebautes KV-Terminalnetz

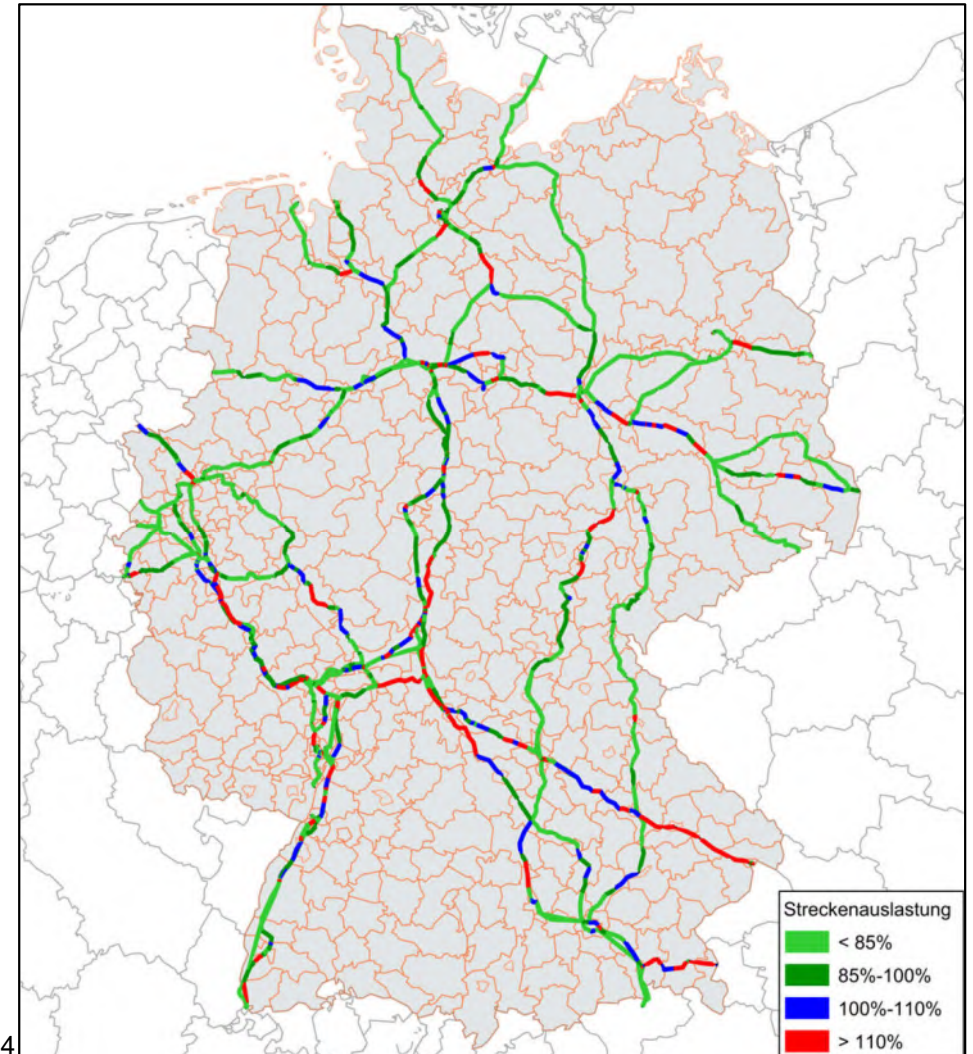


Abb. 34

Infrastrukturelle Maßnahmen im Korridornetz

Zusätzliche Maßnahmen:

- 2 zusätzliche Gleise (~ 1200 km)
- Geschwindigkeitsharmonisierung für den Güterverkehr (~ 620 km)
- Blockverdichtung (~ 130 km)

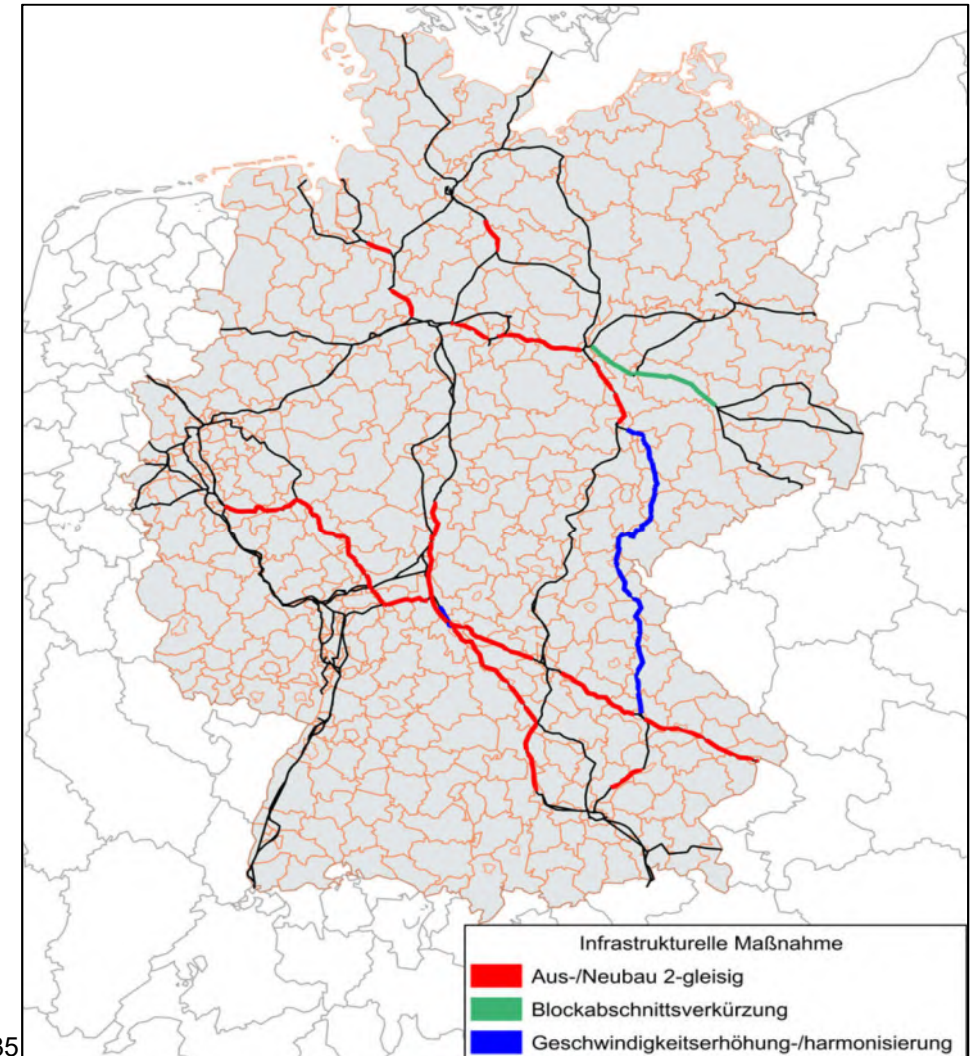


Abb. 35

Streckenauslastungen unter Beachtung der verlagerten Güterverkehrsnachfrage im Ausbauzustand

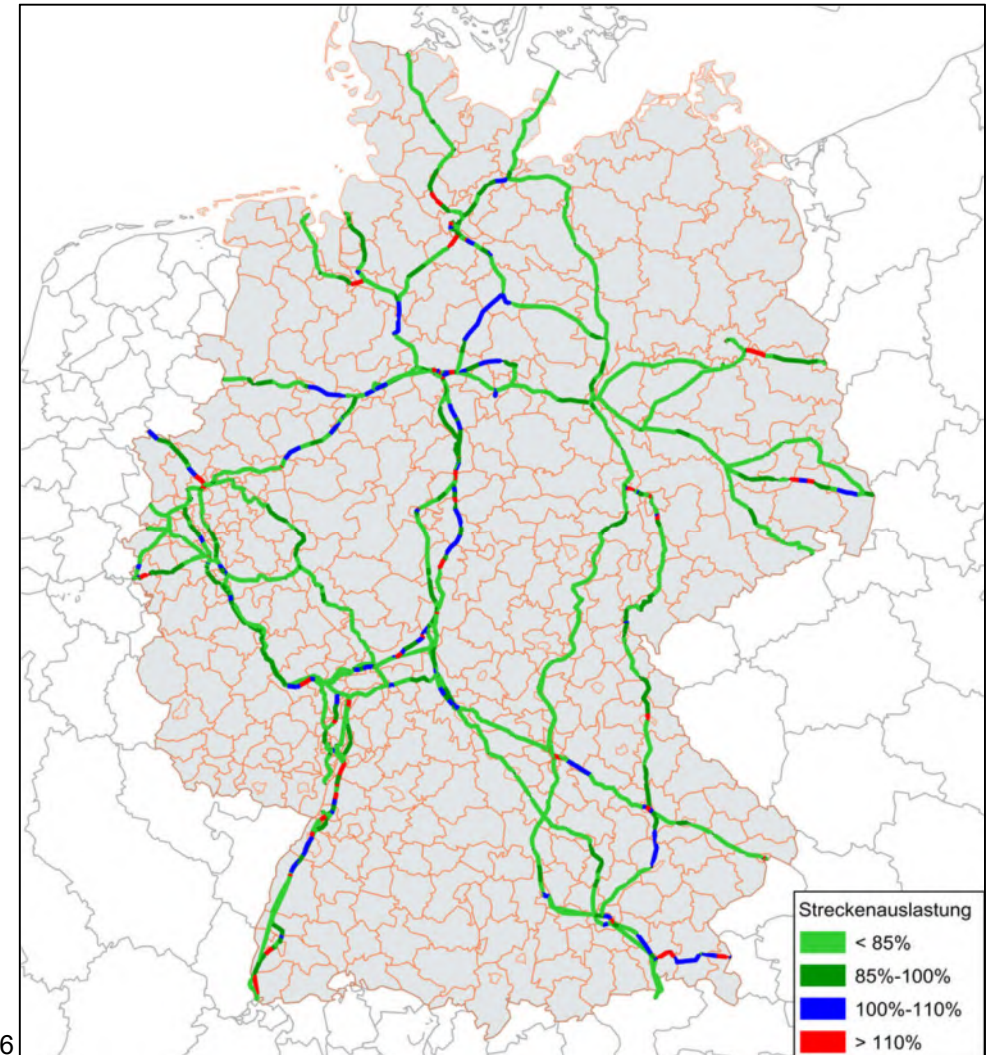


Abb. 36

Vergleich vorher - nachher

Vorher

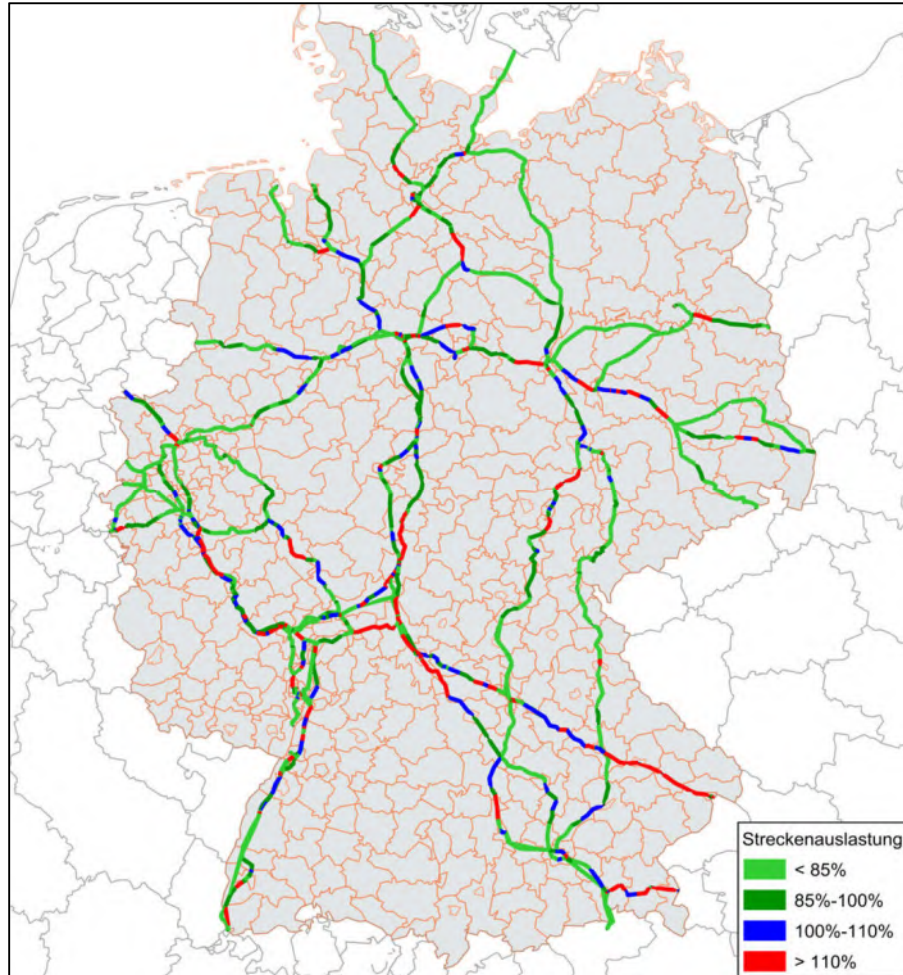


Abb. 37

Nachher

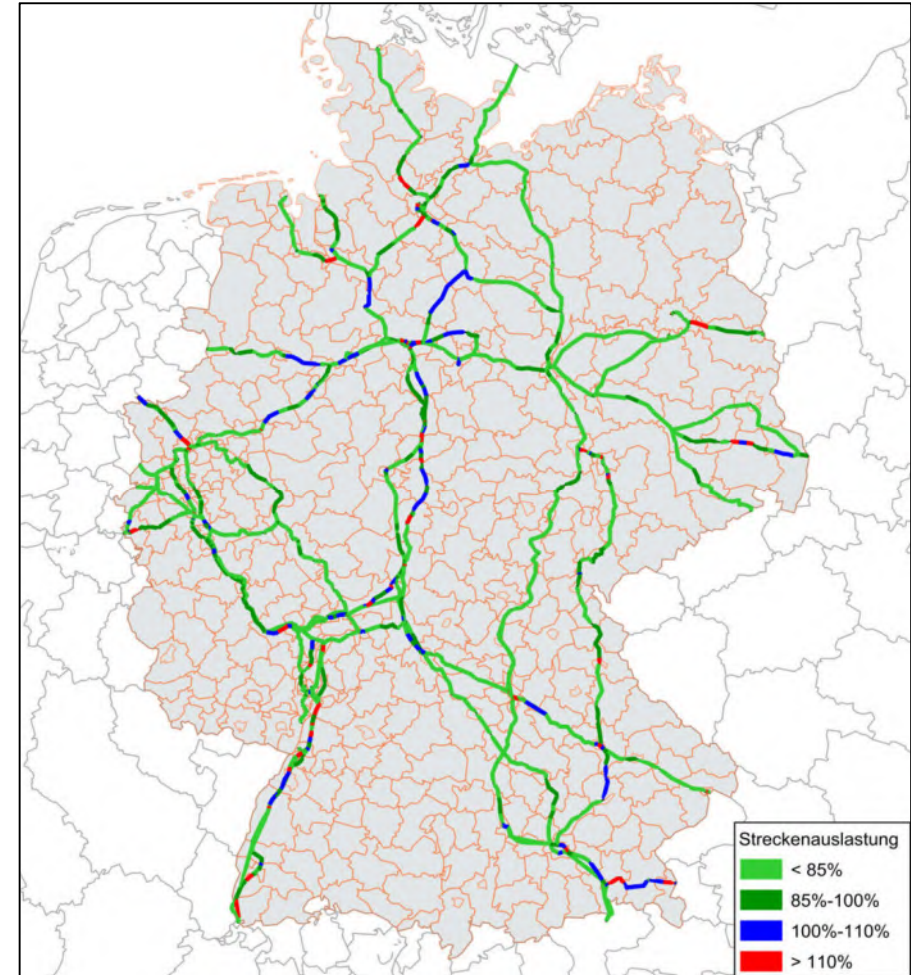


Abb. 38

Achtung: Engpässe in Knoten !!!!

Überblick

- Zusammenfassung
- Grundlagen: Struktur und Entwicklungen im Güterverkehr
- Frage 1: Ist ein Effizienzsprung auf der Straße überhaupt möglich?
- Frage 2: Was kann die Schiene leisten?
- **Frage 3: Was geht auf der letzten Meile? (erst mal ohne E-Mobilität o.ä.)**
- Frage 4: Welche CO₂-armen Antriebsoptionen sind möglich? Wer bekommt welchen Kraftstoff und was bedeutet das für den Stromsektor?

Herausforderungen Güterverkehr in der Stadt



Abb. 39

Stau

- Führt zu Ressourcenverlusten
- Ineffiziente Nutzung



Abb. 40

Städtischer Verkehr

- 15% Güterverkehrsanteil
- Aber: sprunghaft steigend



Abb. 41

Schädigungspotenzial des Güterverkehrs

- Vibrationen und Lärm
- NO_x, Feinstaub
- Erhöhte Wirkung auf Verkehrsfluss
- Parken und Rangieren

Lastenfahrrad



Abb. 42

Mikrodepots und kleine Fahrzeuge für Logistik

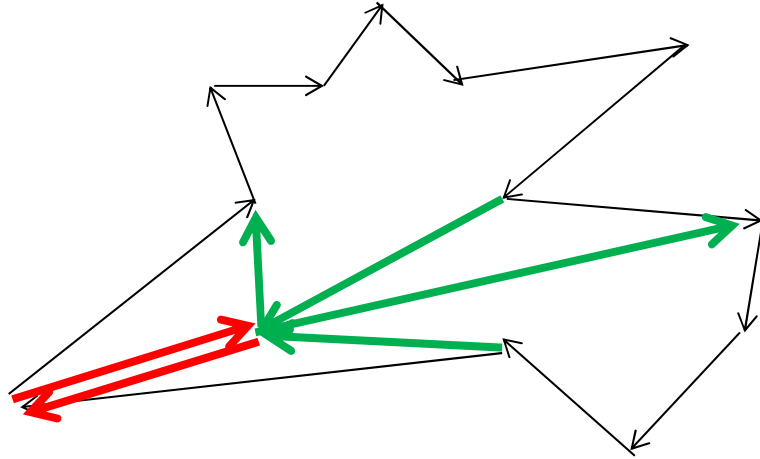


Abb. 43



Abb. 44

Mit Mikro-Umschlag

- Fahrleistung großer Lkw sinkt
- Gesamtfahrleistung steigt
- Kleine Fahrzeuge sind agiler
- Speed Deliveries werden ermöglicht

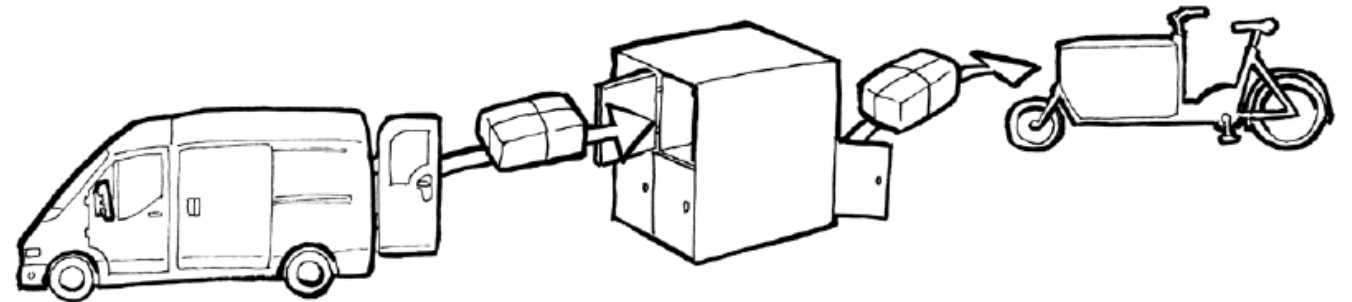
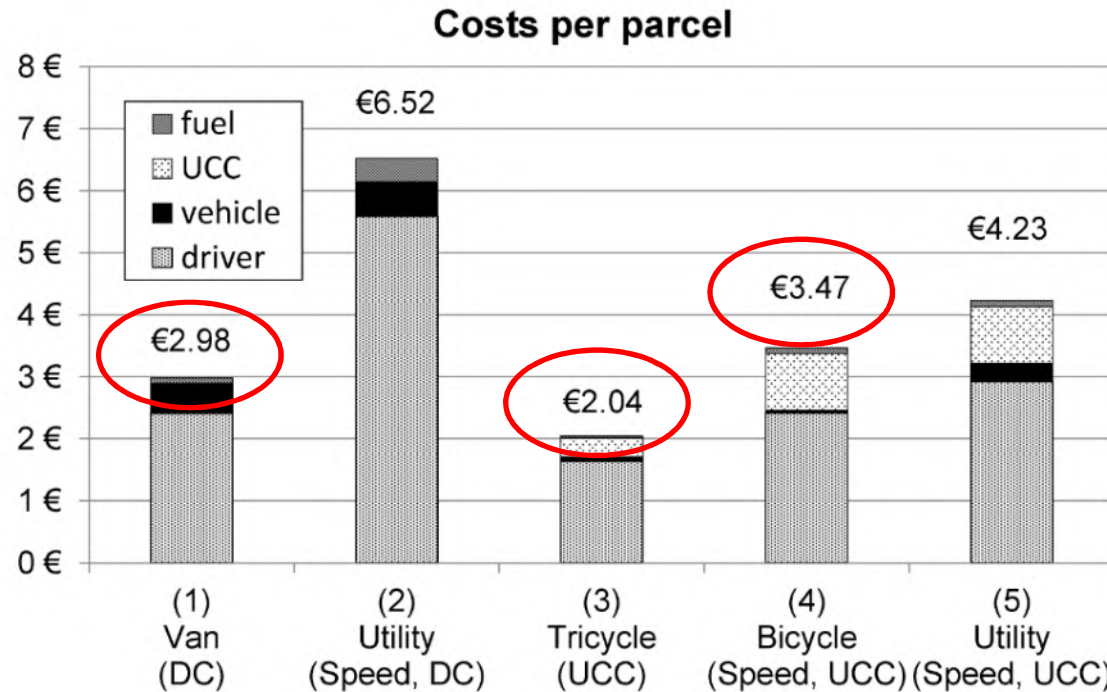


Abb. 45

Weitere Erkenntnisse aus Simulationen



Für Speed Deliveries gilt:

- Lastenfahrrad lohnt sich heute schon

Für Massenmarkt gilt:

- Mittelgroße Fahrzeuge stellen eine Chance dar

Beides gilt schon bei heutigen Rahmenbedingungen:

Abb. 46

⇒ **Potenzial für neue Fahrzeugkonzepte**

Kleinfahrzeuge zur Belieferung von Siedlungsräumen



Abb. 47

Lastenfahrräder

Neuartige Antriebe
(z.B. DLR-Lastenrad mit
Brennstoffzellensystem)

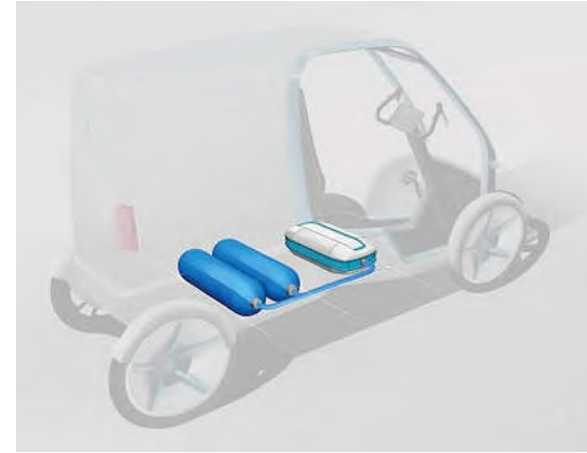


Abb. 48

Neue Anbieter mit integrierten logistischen Konzepten
(z.B. Rytle: Fahrzeug, Wechselcontainer, Hub, App)



Abb. 49

Überblick

- Zusammenfassung
- Grundlagen: Struktur und Entwicklungen im Güterverkehr
- Frage 1: Ist ein Effizienzsprung auf der Straße überhaupt möglich?
- Frage 2: Was kann die Schiene leisten?
- Frage 3: Was geht auf der letzten Meile?
- **Frage 4: Welche CO₂-armen Antriebsoptionen sind möglich? Wer bekommt welchen Kraftstoff und was bedeutet das für den Stromsektor?**

Alternative Kraftstoffe - Übersicht

Heute

Energieressource = Kraftstoff

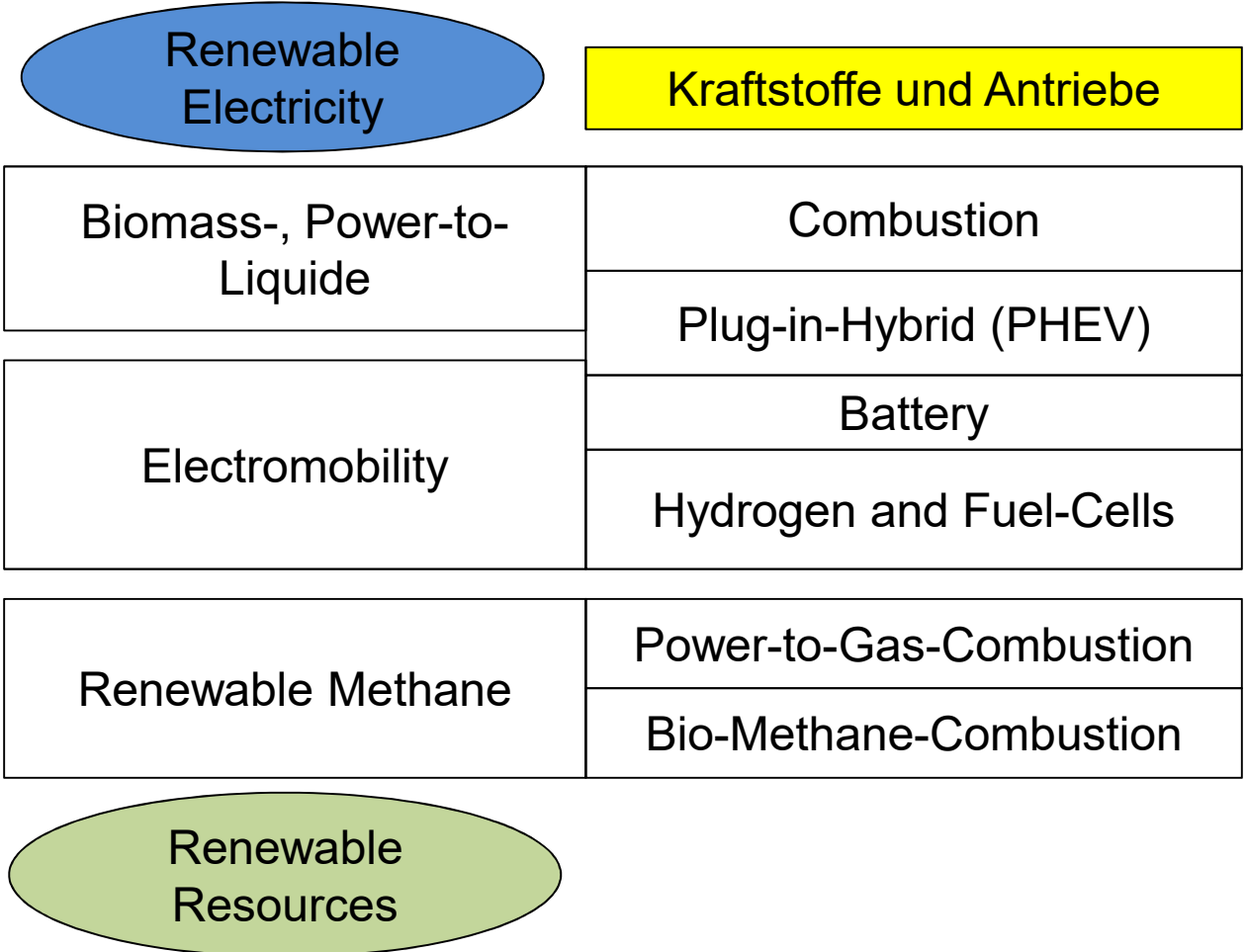
Mineral-Oil-based

Hydrogen/Fuel-Cells

Coal and Gas	Electric Energy
	GTL and CTL
	CNG, LNG

Abb. 50

Zukunft



Zum Batterie-Lkw

Prototypen fahren, Massenherstellung in Planung



Quelle: Daimler AG



Quelle: Daimler AG



Quelle: Einride AB

	3,5-Tonner 150 km	12-Tonner 200 km	40-Tonner 300 km	40-Tonner 600 km
Bedarf Diesel (l)	$10 \cdot 1,5 = 15$	$25 \cdot 2 = 50$	$30 \cdot 3 = 90$	$30 \cdot 6 = 180$
Batteriekapazität (kWh)	$0,4 \cdot 10 \cdot 15 = 60$ <small>(Wirkungsgrad Motor * kWh/l * Verbrauch)</small>	$0,4 \cdot 10 \cdot 50 = 200$	$0,4 \cdot 10 \cdot 90 = 360$	$0,4 \cdot 10 \cdot 180 = 720$
Gewicht Batterie (t)	0,6	2	3,6	7,2
Kosten Batterie (EUR)	6.000	20.000	36.000	72.000

Annahmen: Gewicht pro kWh → 10 kg; Kosten pro kWh Batterie → 100 EUR
(<https://de.wikipedia.org/wiki/Energiedichte>; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/534429/umfrage/weltweite-preise-fuer-lithium-ionen-akkus/>)

Abb. 51

Zu beachten: Dies sind die in Kürze zu erwartenden Preise für Li-Ionen Batterien für Pkw. Aufgrund des komplexeren Aufbaus sind zurzeit Lkw-Batterien pro kWh um 50% teurer. In 2-3 Jahren sind jedoch auch bei Lkw die genannten 100 EUR/kWh zu erwarten.

Herausforderungen Batterie-Elektrifizierung

- Laden von Flotten auf Betriebshöfen
- Laden an Autobahnen und Autohöfen
- Laden im öffentlichen Bereich → Lieferverkehr
- Laden bei Kunden
- Laden unterwegs

Wasserstoff-Lkw

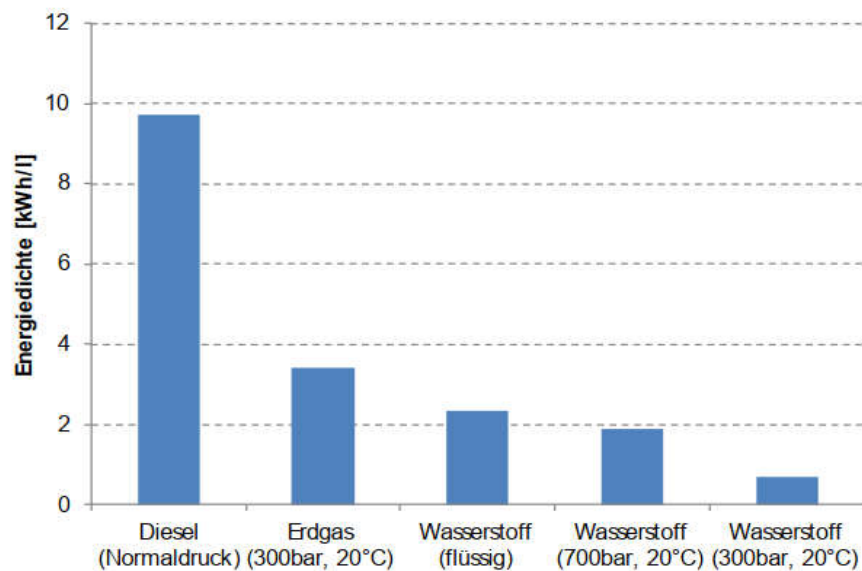


Abb. 52

Wasserstoff erfordert Hochdrucktanks oder Verflüssigung

Wasserstoff ist eine mögliche Option für Güterfernverkehr. Überlegenheit zur Batterie rein aus Verkehrssicht nicht eindeutig begründbar.

Aufteilung Gesamtfahrwiderstand 40-t-Sattelzugs mit etwa 300 kW:



Abb. 53

Aktuelle Brennstoffzellen besitzen ca. 150 kW
(=> Batterien sinnvoll und unumgänglich)

Kosten Brennstoffzelle: 60-80 Tsd. EUR heute;
dürfte sich in 7 Jahren halbieren.

Batterie vs. Wasserstoff

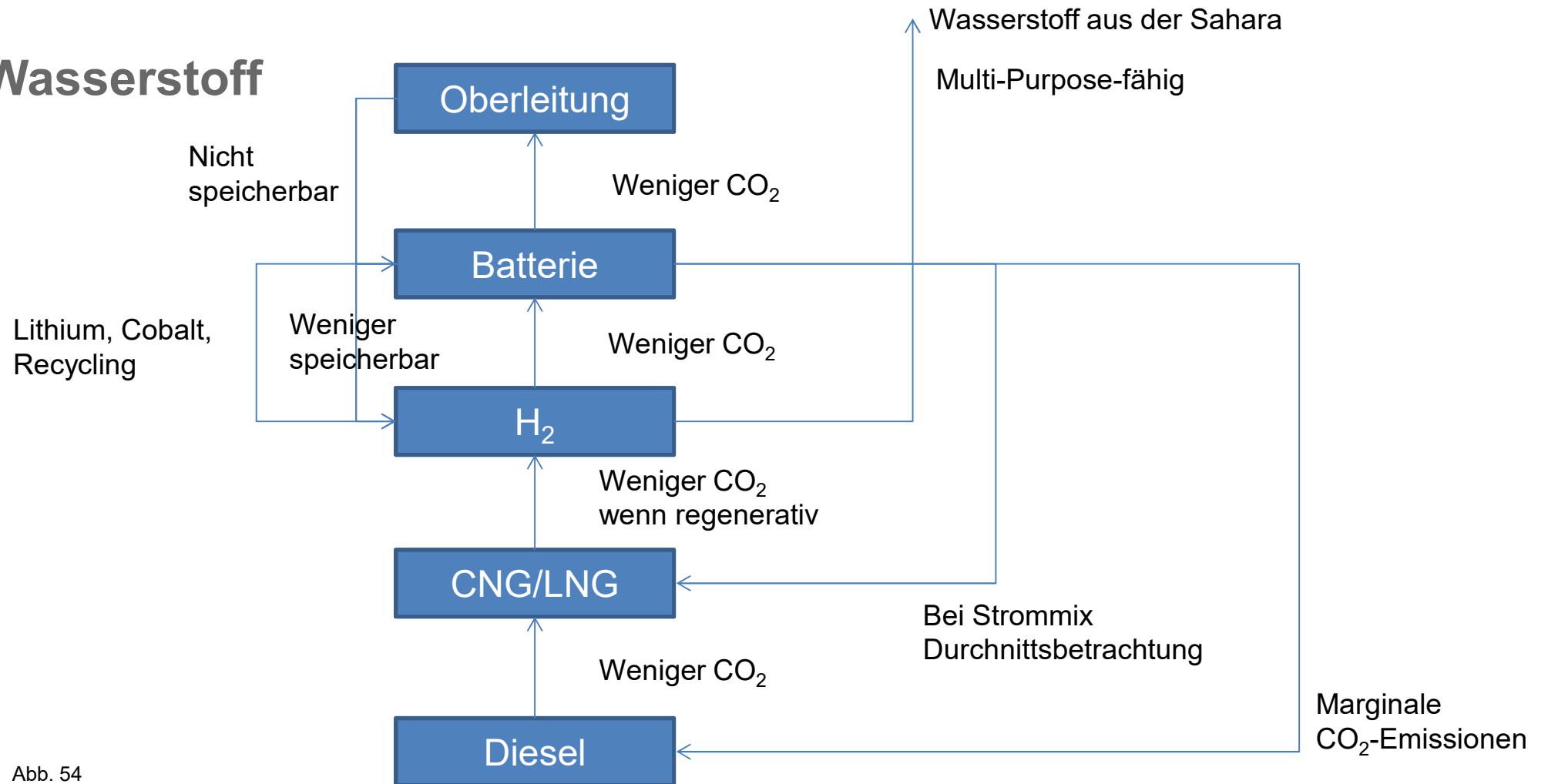


Abb. 54

Die Reihung der zu präferierenden Optionen nach CO₂-Effizienz bei Annahme weitgehend grünem Stroms gerät durcheinander, wenn zusätzliche Kriterien und alternative Bilanzierungen des CO₂ im Strom angewendet werden.

⇒ Sog. “intransitive kollektive Präferenzen”

⇒ Debatten, Kämpfe um Märkte, allgemeine Orientierungslosigkeit

Grid-to-Wheel-Effizienzen von Energieträgern

	Strom	Energieträger	Wheel
Batterieelektrisch	100%	95%	73-80%
H ₂ Brennstoffzelle	100%	48% - 52%	22-33%
Synthetische Kraftstoffe	100%	50%	13-17%

Abb. 55

Stromgestehungskosten

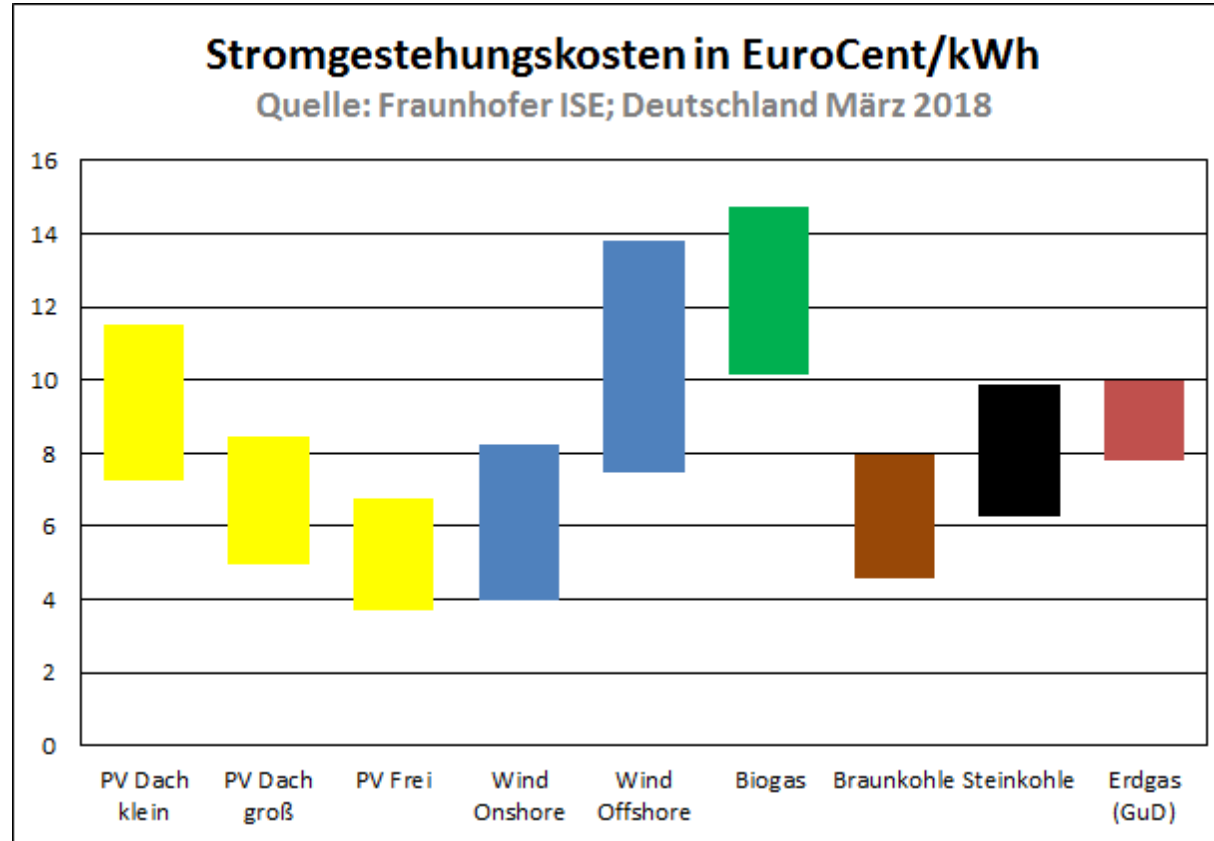


Abb. 56

Systemvergleich Batterie / H₂-Brennstoffzelle

(Annahme: nur energetische Betrachtung; weite Zukunft, Autarkie)

	Batterie	Wasserstoff
Energie Wheel	1 kWh	1 kWh
Energie Entnahme	1,3 kWh	
Energie H ₂		2,36 kWh
Energie Erzeugung	1,37 kWh	4,5 kWh
Erzeugungskosten	1,37*6 ct. = 8 ct.	4,5*6 ct. = 27 ct.
Energiesteuer	1,37*2 ct. = 3 (?)	?
Elektrolysateur	-	?
Sonst. (Netz, Transport)	1,37*5 ct. = 7 ct.	?
Summe	18 ct. + (?)	27 ct. + ???

Abb. 57

Chance 1 – nationaler Überschussstrom



Abb. 58

Idee:

- Wenn mehr Strom erzeugt wird als abgenommen wird, so könnte der Überschussstrom (dessen Marktwert nahe Null wäre) für Wasserstoffsynthese genutzt werden.
- Im Grunde fielen zunächst nur Kosten für Elektrolysateure, Speicherung und Transport an.
- Der entstehende H_2 wäre eine attraktive Alternative zu Benzin/Diesel

Jedoch

- Befreiung von Energiesteuer und EEG notwendig damit wettbewerbsfähige Preise für H_2
- Überschussstrom leistet keinen Beitrag zum Netzausbau und zur Umstellung der Energieerzeugung (Akzeptanzproblem)
- Kurzfristig ökonomisch effizient, langfristig Fehlanreize
- Andere Sektoren stehen ebenso Schlange, die mehr Zahlungsbereitschaft/Nutzen haben
- **Insofern: Max. Effizienz ist nicht gegeben, wenn Überschussstrom umsonst genutzt werden kann.**

H2 aus nationalem Überschussstrom

Fahrzeugtyp	Fahrleistung Inland (Mio. km)	Diesel-verbrauch (Mio. l)	Energie-bedarf im Tank (TWh)	Energie zur Fort-bewegung (TWh)	Energie zur Fort-bewegung Wasserstoff (TWh)	Energie zur Fort-bewegung Batterie (TWh)
Transporter < 3,5t	49 549	5 611	54,43	21,77	65,98	27,22
Leichte Lkw < 7,5t	185,58	31, 88	0,31	0,12	0,37	0,15
Mittlere Lkw < 20t	2 589,23	647, 31	6,28	2,51	7,61	3,14
Schwere Lkw (Sattelzüge)	19 296,64	6 639,30	64,40	25,76	78,06	32,20
Ausländische Fahrzeuge	14 344,24	5 020,50	48,70	19,48	59,03	24,35
Ausbau Windkraft					277%	114%

Abb. 59

Nationaler Überschussstrom

Deutscher Strommix 2019
Nettostromerzeugung nach Energieträgern

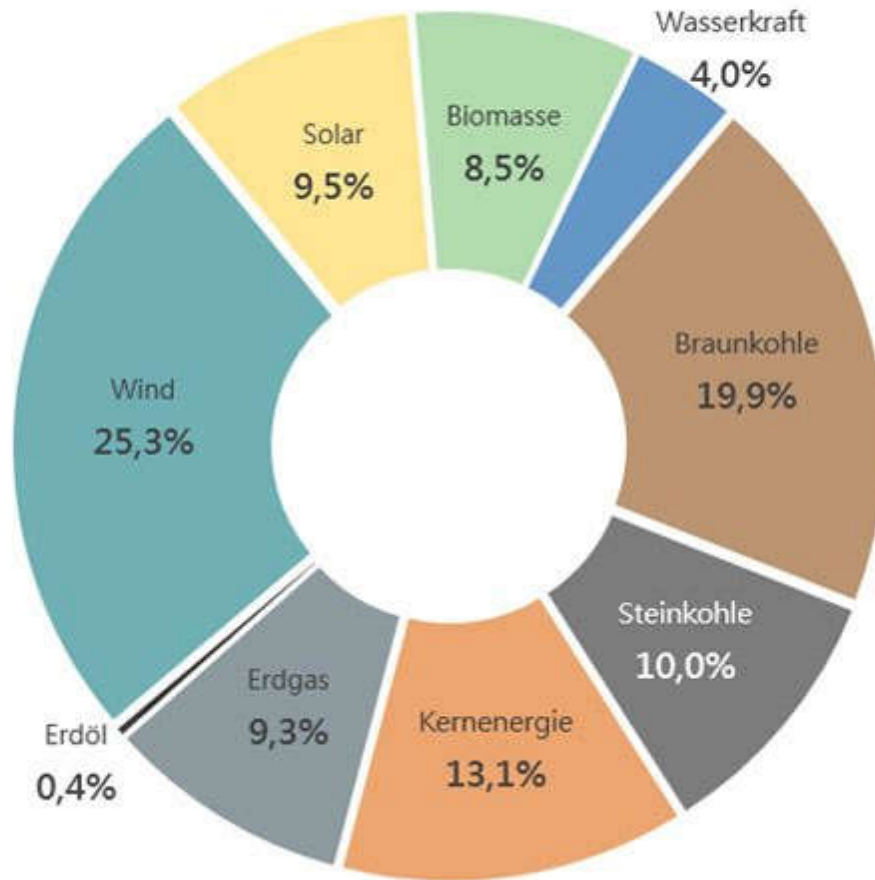


Abb. 60

- Nationale Dekarbonisierung der Stromerzeugung: Zubau von nochmal 2 * heutige Windkraft (oder etwas anderes)
- Zudem Zubau von 1,5 * Windkraft für Pkw-Strom
- Zudem: Mehr Strom auch für Wärme benötigt

Bis die Stromerzeugung selbst komplett regenerativ erfolgt (inkl. Mehrbedarfe durch Heizstrom und Batterie-E-Mobilität der Pkw), müssen Wind- und Solarstrom im Vergleich zu heute um ein Mehrfaches (3-6 Mal) wachsen

Chance 2 - Wasserstoff aus der Wüste



Abb. 61

- Wasserstoff aus der Elektrolyse von Solarstrom aus der Wüste stellt ein zum Erdöl alternatives Handelsgut dar
- Ohne fiskalische Belastungen (Energiesteuer) ist er sogar eine wettbewerbsfähige Alternative zum Diesel
- Profiteure sind neben den sich entwickelnden Ländern im globalen Süden auch die großen Energiekonzerne
- Geopolitische Konflikte zu erwarten, aber geringer als bei Erdöl und Erdgas

Ursprüngliches Dersertec



- Im ursprünglichen Desertec-Projekt war geplant, Wüstenstrom per Gleichstrom-Unterseekabel nach Europa zu transportieren.
- Dieses ist weiterhin eine attraktive Alternative zum Energietransport per Wasserstoff

Abb. 62

Zusammenfassung

- Frage 1: Ist ein Effizienzsprung auf der Straße überhaupt möglich?

20-30% Endenergie-Effizienzsteigerung, vor allem durch aerodynamische Optimierung

- Frage 2: Was kann die Schiene leisten?
- Frage 3: Was geht auf der letzten Meile?
- Frage 4: Welche CO₂-armen Antriebsoptionen sind möglich? Wer bekommt welchen Kraftstoff und was bedeutet das für den Stromsektor?

Zusammenfassung

- Frage 1: Ist ein Effizienzsprung auf der Straße überhaupt möglich?
- Frage 2: Was kann die Schiene leisten?

20% CO₂-Reduktion und Endenergie-Effizienzsteigerung durch Verlagerung

- Frage 3: Was geht auf der letzten Meile?
- Frage 4: Welche CO₂-armen Antriebsoptionen sind möglich? Wer bekommt welchen Kraftstoff und was bedeutet das für den Stromsektor?

Zusammenfassung

- Frage 1: Ist ein Effizienzsprung auf der Straße überhaupt möglich?
- Frage 2: Was kann die Schiene leisten?
- Frage 3: Was geht auf der letzten Meile?

Nicht wirklich viel unter Energiegesichtspunkten. Aber Batterie-Elektrik ist sehr leicht möglich. Und hat viele andere Vorteile.

- Frage 4: Welche CO₂-armen Antriebsoptionen sind möglich? Wer bekommt welchen Kraftstoff und was bedeutet das für den Stromsektor?

Zusammenfassung

- Frage 1: Ist ein Effizienzsprung auf der Straße überhaupt möglich?
- Frage 2: Was kann die Schiene leisten?
- Frage 3: Was geht auf der letzten Meile?
- Frage 4: Welche CO₂-armen Antriebsoptionen sind möglich? Wer bekommt welchen Kraftstoff und was bedeutet das für den Stromsektor?

An Batterieelektrik, ggf. Oberleitungen führt kein Weg vorbei. Wasserstoff ggf. in Nischen. Ansagen und Selbstbindung der Politik notwendig: Marktdesign, Besteuerung. Mit Kombiprogramm Effizienz + Bahn könnte es mit Batterieelektrik weitgehend gelingen.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Umweltbundesamt

Abb. 2: Eigene Abbildung basierend auf eigenen Abschätzungen

Abb. 3: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_elektro-hybridfahrzeuge_2020-06-11.pdf

Abb. 4: DLR

Abb. 5: Scania

Abb. 6: Volvo Trucks

Abb. 7: Deutsche Bahn AG/Volker Emersleben

Abb. 8: ADAC/Christoph Michaelis

Abb. 9: TÜV Rheinland

Abb. 10: ADAC/Martin Hangen

Abb. 11: planet_fox auf pixabay

Abb. 12: Projekt OVID, Karlsruher Institut für Technologie

Abb. 13: G. Liedtke, H. Friedrich & J. Babani, (2011).

Abb. 14: Eigene Berechnungen

Abb. 15: Shell Nutzfahrzeug Studie 2016

Abb. 16: entnommen aus BIEK- und KEP-Studie 2020 des BdKEP

Abb. 17: Eigene Abbildung, Zahlen entnommen aus KBA-Statistik FZ 25

Abb. 18: KBA-Reihen, VE3

Abb. 19: Shell Nutzfahrzeug-Studie, Abb. 17 und 62 (2016)

Abb. 20: TREMOD

Abb. 21: DLR, Aeroflex Projekt

Abb. 22: Iveco

Abb. 23: TUM, Lehrstuhl Industrial Design, S. Rauchbart, W. Wilden

Abb. 24: ADAC

Abb. 25: Allianz pro Schiene auf der Basis von Zahlen von TREMOD 6.03 und UBA 1/2020

Abb. 26: Eigene Berechnungen

Abb. 27: DLR, Projekt MKS

Abb. 28: DLR

Abb. 29: <https://www.faz.net/aktuell/wissen/die-rechnung-fuer-den-gueterverkehr-fracht-auf-die-schiene-1492289.html> Nach Zahlen vom ifeu

Abb. 30: DLR

Abb. 31: PCC Intermodal

Abb. 32: Deutsche Bahn AG/Volker Emersleben

Abb. 33: DLR, Projekt MKS

Abb. 34: DLR, Projekt MKS

Abb. 35: DLR, Projekt MKS

Abb. 36: DLR, Projekt MKS

Abb. 37: DLR, Projekt MKS

Abb. 38: DLR, Projekt MKS

Abb. 39: www.alexanderblum.de

Abb. 40: dpdhl.com

Abb. 41: PTV Group

Abb. 42: DLR, Projekt „Ich entlaste Städte“

Abb. 43: Eigene Darstellung

Abb. 44: LNC GmbH – KoMoDo Berlin

Abb. 45: (c) Landeshauptstadt München

Abb. 46: C. Rudolph, G. Liedtke, J. Gruber (2018)

Abb. 47: DLR

Abb. 48: DLR

Abb. 49: Rytle

Abb. 50: DLR

Abb. 51: Eigene Berechnungen

Abb. 52: IWR - Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien 2005

Abb. 53: Hoepke und Breuer (2013): Nutzfahrzeugtechnik. Springer: Berlin

Abb. 54: Eigene Abbildung

Abb. 55: VCÖ, iav, eigene Berechnungen

Abb. 56: Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke in Deutschland (Datenquelle: Fraunhofer, ISE; März 2018),
entnommen bei wikipedia.org

Abb. 57: Eigene Berechnung

Abb. 58: Mainzer Stadtwerke AG

Abb. 59: Eigene Berechnung auf Basis von Daten des KBA

Abb. 60: Fraunhofer ISE: Stromerzeugung in Deutschland im ersten Halbjahr 2019

Abb. 61: http://www.ca.blm.gov/cdd/alternative_energy.html entnommen aus commons.wikimedia.org, Stand 30.11.2020

Abb. 62: DESERTEC EU-MENA Karte: Skizze einer möglichen Infrastruktur für eine nachhaltige Stromversorgung in Europa, dem Nahen Osten und Nord-Afrika (EU-MENA). Quelle: DESERTEC Foundation